التوليد ومحطات التحويل الرئيسية

محطات التحويل الكهربائية

الجدارة:

يهدف المقرر إلى تعريف علي أنواع ومكونات محطات التحويل وكيفية تشغيلها

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

معرفة أنواع ومكونات محطات التحويل وكيفية تشغيلها

القراءة الصحيحة لمخططات المحطات

تحدد نوع محطة التحويل المطلوبة

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان المهارات الأساسية

مكونات محطات التحويل موافقة للمواصفات

توصيف محطات التحويل حسب المكان المحدد للمحطة

الوقت المتوقع للتدريس : ١٢ ساعات

الوسائل المساعدة:

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته عن محطات التوليد في الفصل الثاني.

المقدمة

يتطلب نقل الطاقة الكهربائية من محطات التوليد إلى مكان الاستهلاك رفع الجهد من جهد التوليد المنخفض نسبيا إلى جهد متوسط أو جهد عالي وذلك للحد من المفاقيد على خط النقل. يتم نقل القدرة عبر خطوط النقل الكهربائية على مسافات طويلة تصل إلى آلاف الكيلومترات في بعض الشبكات مما يزيد من معاوقة الخط وبالتالي من المفاقيد الحرارية الناتجة عن مرور التيار في الموصلات. للتقليل من هذه المفاقيد يتم إنشاء محطة للرفع عند بداية الخط يتم من خلالها رفع الجهد وأخرى لخفض الجهد عند نهاية الخط وتعرف بمحطات الخفض.

تتكون هذه المحطات أساسا من محولات القدرة التي تعرف بمحولات النقل مع قضبان التوزيع والقواطع وأجهزة الوقاية و الإنذار.

يتم إنشاء محطات التحويل في العراء وتعرف بالمحطات المعزولة بالهواء Air-insulated outdoor Substation ويعتمد فيها على الهواء كعازل طبيعي كما طورت المحطات الحديثة وأصبحت محطات داخلية مغلقة يعتمد فيها على الغاز كعازل وتسمى المحطات المعزولة بالغاز Gas-Insulated Substation.

محطات التحويل الكهربائية Transformer Substation

أنواع المحطات

تمثل محطات التحويل عنصرا أساسيا في الشبكات الكهربائية حيث تستخدم لنقل و لتوزيع الطاقة الكهربائية. تسمح هذه المحطات برفع الجهد لنقل الطاقة وخفضه من جديد عند الوصول إلى المستهلك سواء كان سكني أو صناعي. فمن الطبيعي أن تتواجد هذه المحطات في بدايات ونهايات خطوط النقل أو التوزيع و تسمى محطات رفع الجهد أو محطات خفض الجهد.

يمكن تقسيم محطات التحويل إلى نوعين رئيسين كما يلي:

- محطات النقل Transmission substation
- محطات التوزيع Distribution substation

تنشأ محطات النقل قرب محطات التوليد أي في بداية خطوط النقل أو عند نقاط الربط بالمنظومة الكهربائية. وظيفة هذه المحطات هي ربط المولدات بالشبكة ورفع الجهد من مستويات التوليد إلى مستويات عالية وفائقة تتناسب مع المسافات الطويلة حيث توجد مراكز الأحمال.

أما محطات التوزيع الفرعية فيتم إنشائها في مركز الأحمال الكهربائية بالقرب من المستهلك حيث تعمل على خفض الجهد من مستويات النقل العالية إلى مستويات منخفضة.

توجد تقنيتان رئيستان لإنشاء هذه المحطات ، الأولى تقليدية وتسمى بالمحطات المعزولة بالهواء Air-insulated outdoor Substation. في هذه الحال تكون موصلات الجهد العالي في الهواء الطلق وتفصلها مسافة كافية للعزل بينها. أما المحطات الحديثة فهي محطات داخلية مغلقة يعتمد فيها على غاز SF_6 (سادس فلوريد الكبريت Sulfur hexafluoride) كعازل وتسمى المحطات المعزولة بالغاز Gas-Insulated Substation.

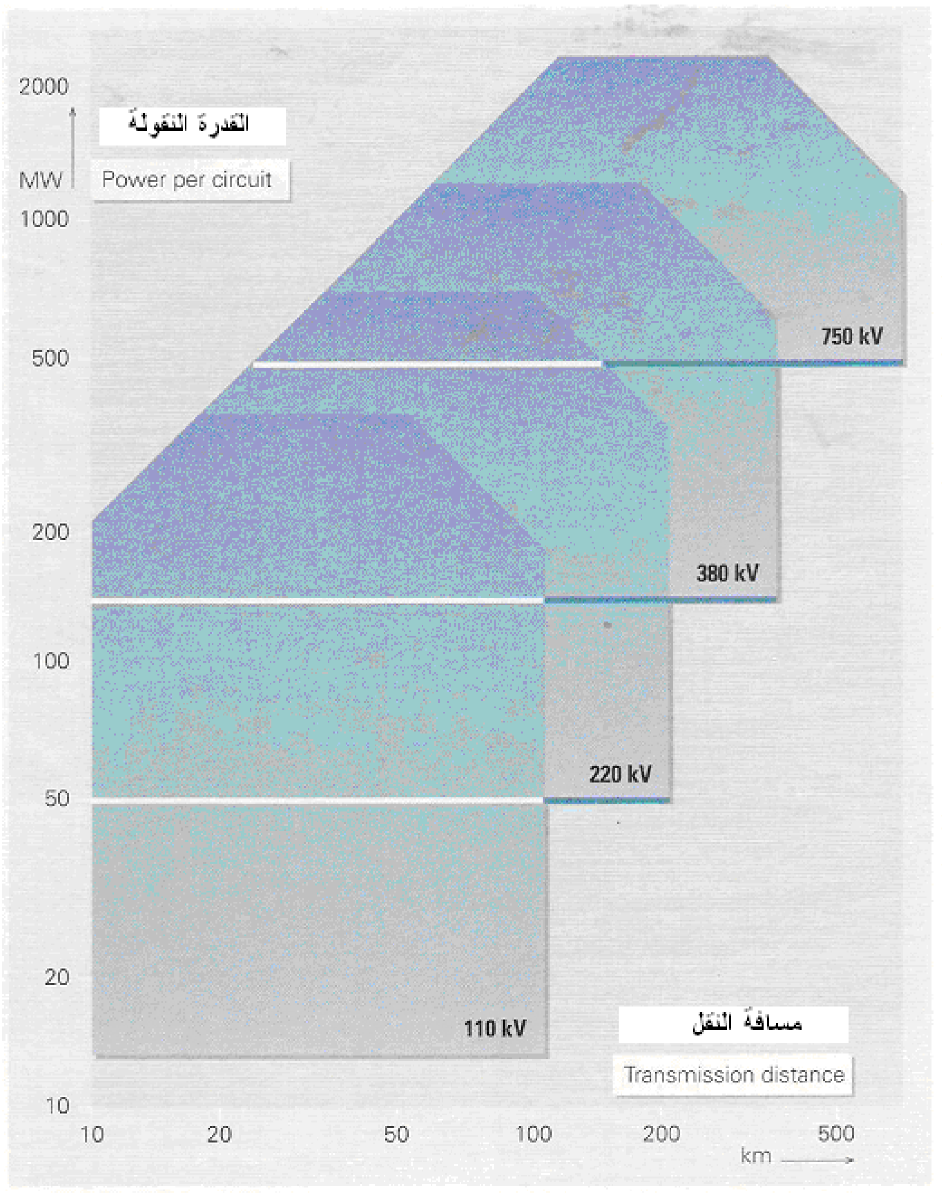
- **محطات رفع الجهد**

تقع محطات رفع الجهد عند بدايات خطوط النقل مباشرة بعد مرحلة التوليد وذلك لخفض التيار المنقول والحد من المفاقيد على الخط . يتم توليد القدرة في محطات التوليد تحت جهود مختلفة حسب نوع المولد (6.6kV, 11kV,13.8kV,20kV and 33kV) كحد أقصى وذلك لاعتبارات فنية أهمها العزل داخل لفائف المولد. وبالتالي يكون التيار الخارج من المولد عالي جدا بمئات الأمبير مما يستوجب تخفيضه دون المساس بكمية الطاقة الكهربائية المنقولة. لذا يتم رفع الجهد مباشرة من

جهد التوليد إلى جهود عالية أو فائقة (750kV, 400kV, 380kV, 220kV, 132kV,110kV and 66kV) بواسطة محولات ثلاثية الطور ذات قدرة عالية توصل إلى المولدات و تسمى محولات الرفع.

يتم تحديد جهد النقل من خلال القدرة المنقولة على الخط وطول المسافة حسب الرسم المبين في الشكل(4.1).

تحتوي هذه المحطات على عدة مكونات أخرى كالقواطع الكهربائية للحماية والسكاكين الكهربائية للفصل (والعزل) ومحولات التيار والجهد لتسهيل القياسات وكذلك التأريض.



الشكل(4.1) : اختيار الجهد المناسب لخط النقل الكهربائي الهوائي

- **محطات خفض الجهد**

تقع محطات خفض الجهد في الطرف الثاني للخط أي عند الاستقبال حيث يتواجد المستهلك. هذا المستهلك هو عبارة عن مدن أو مناطق صناعية أي مناطق آهلة ويتعذر دخولها بخطوط نقل هوائية تحت جهد عالي. لذا يتم خفض الجهد إلى مستويات متوسطة في محطات الخفض الرئيسة كمرحلة أولية قبل الدخول إلى مناطق العمران. في هذه المحطات يخفض الجهد إلى مستويات مناسبة لتوزيع الطاقة عبر كابلات أرضية إلى مختلف محطات الخفض الثانوية المتواجدة داخل المدينة.
في المرحلة الأخيرة تغذى الأحمال الكهربائية بأنواعها الصناعية والتجارية والسكنية من خلال الخفض المتدرج لهذه الجهود العالية بواسطة محولات خفض لتصل إلى مستويات التوزيع (33kV,20kV,13.8kV,11kV 6.6kV, 380V and 220V).
لا يقتصر دور هذه المحطات على خفض الجهد فحسب بل يشمل عمليات الحماية والفصل و التأريض وعمليات القياس والتحكم.

مكونات محطة التحويل

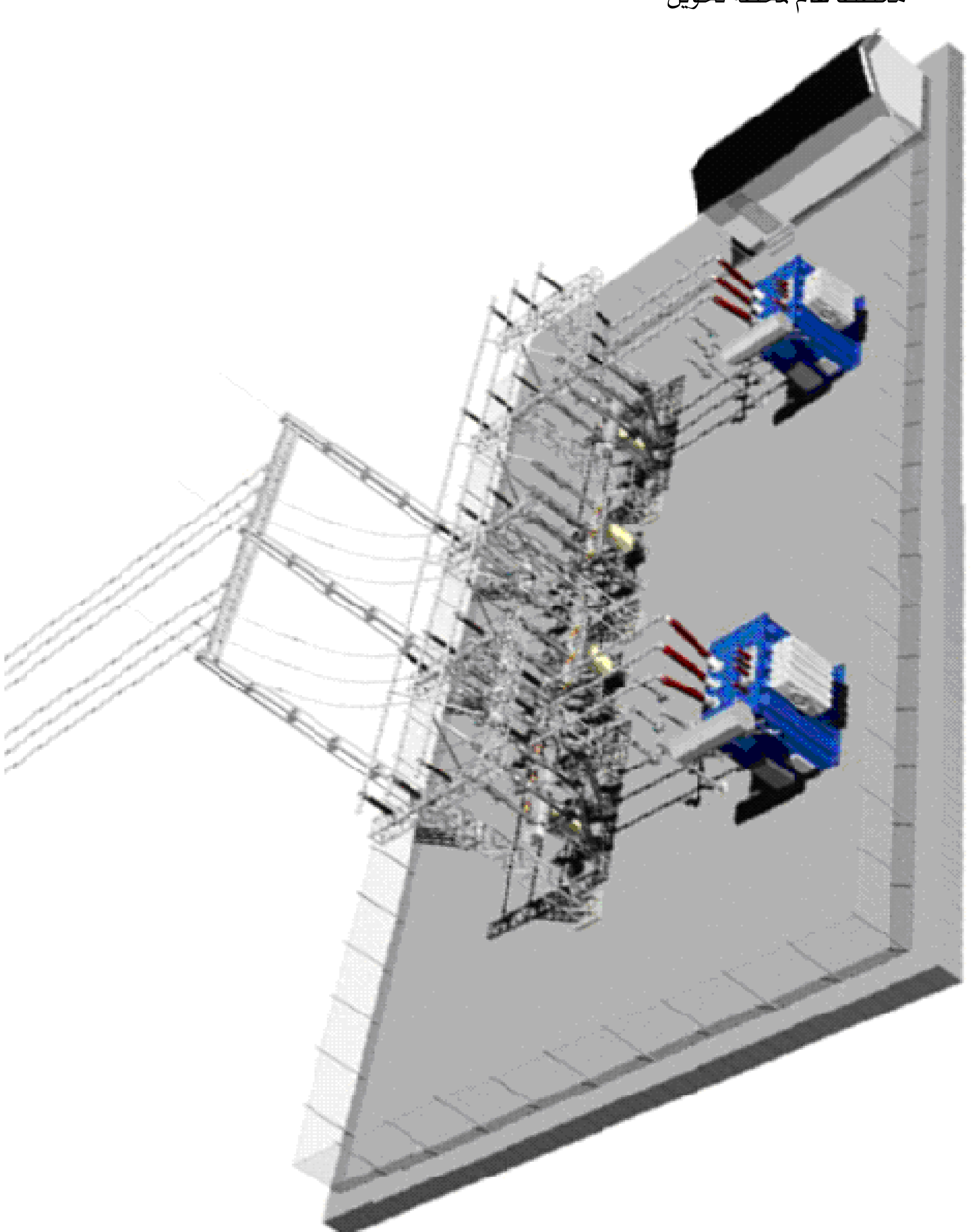
يمكننا تصنيف مكونات محطة التحويل إلى مكونات أساسية وتشمل أجهزة الجهد العالي وأخرى ثانوية وتشمل أجهزة الجهد المنخفض.
المكونات الأساسية للمحطة (أجهزة الجهد عالي):

- محولات القدرة لرفع أو لخفض الجهد — Step-up or step-down transformers
- قضبان التوزيع — Bus-bars
- قواطع الدائرة والمرحلات — Circuit Breakers and Relays
- سكينة الفصل وسكينة الأرضي — Disconnect switch and grounding switch
- محولات قياس للجهد والتيار — Voltage and current transformers
- أجهزة الحماية والقياس — measurement and protection instruments

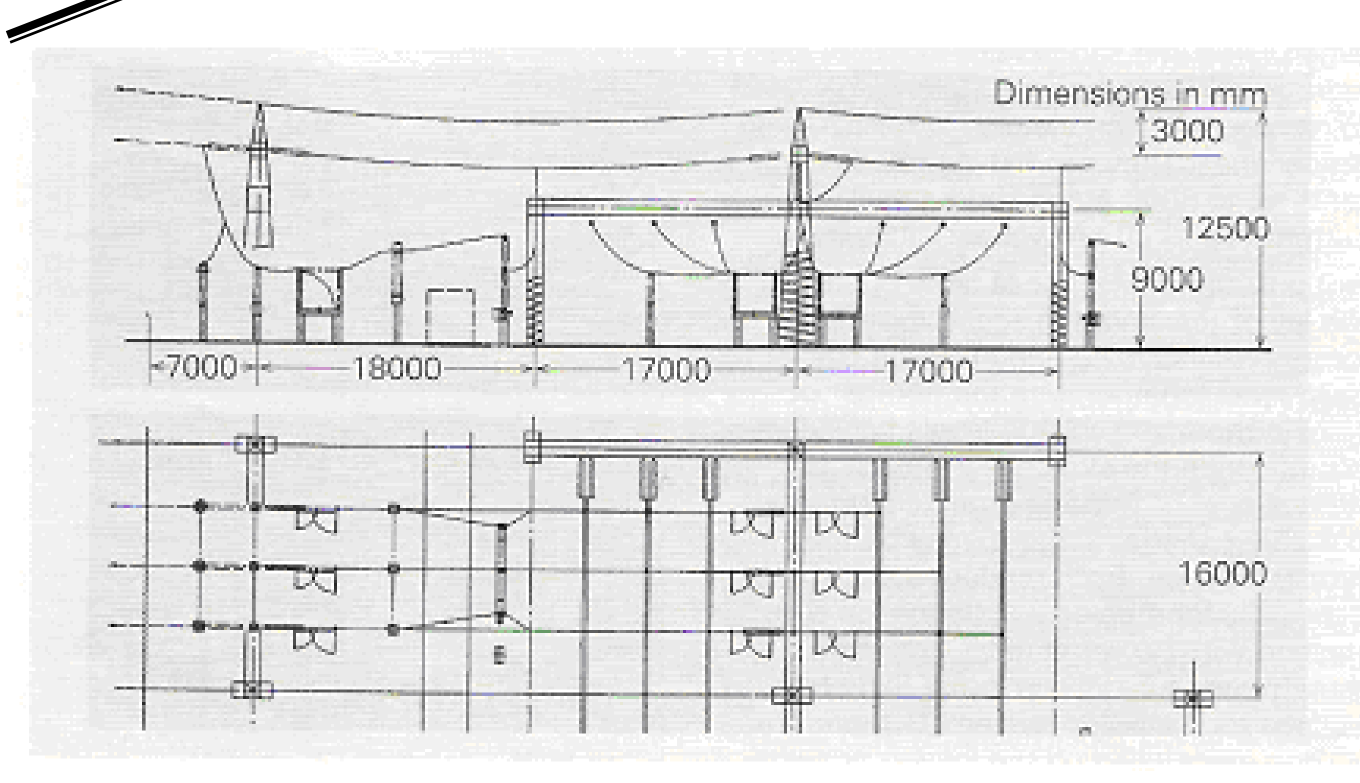
المكونات الثانوية (أجهزة الجهد المنخفض)

- أجهزة الإنذار والحماية ضد الحريق — Alert and protection instruments
- البطاريات — Batteries
- تأريض المحطة — Earthling systems
- أجهزة التحكم — Control systems

- مخطط عام لمحطة تحويل



الشكل (4.2) : منظر عام لمحطة تحويل كهربائية



(a) Central tower designتصميم بالبرج مركزي

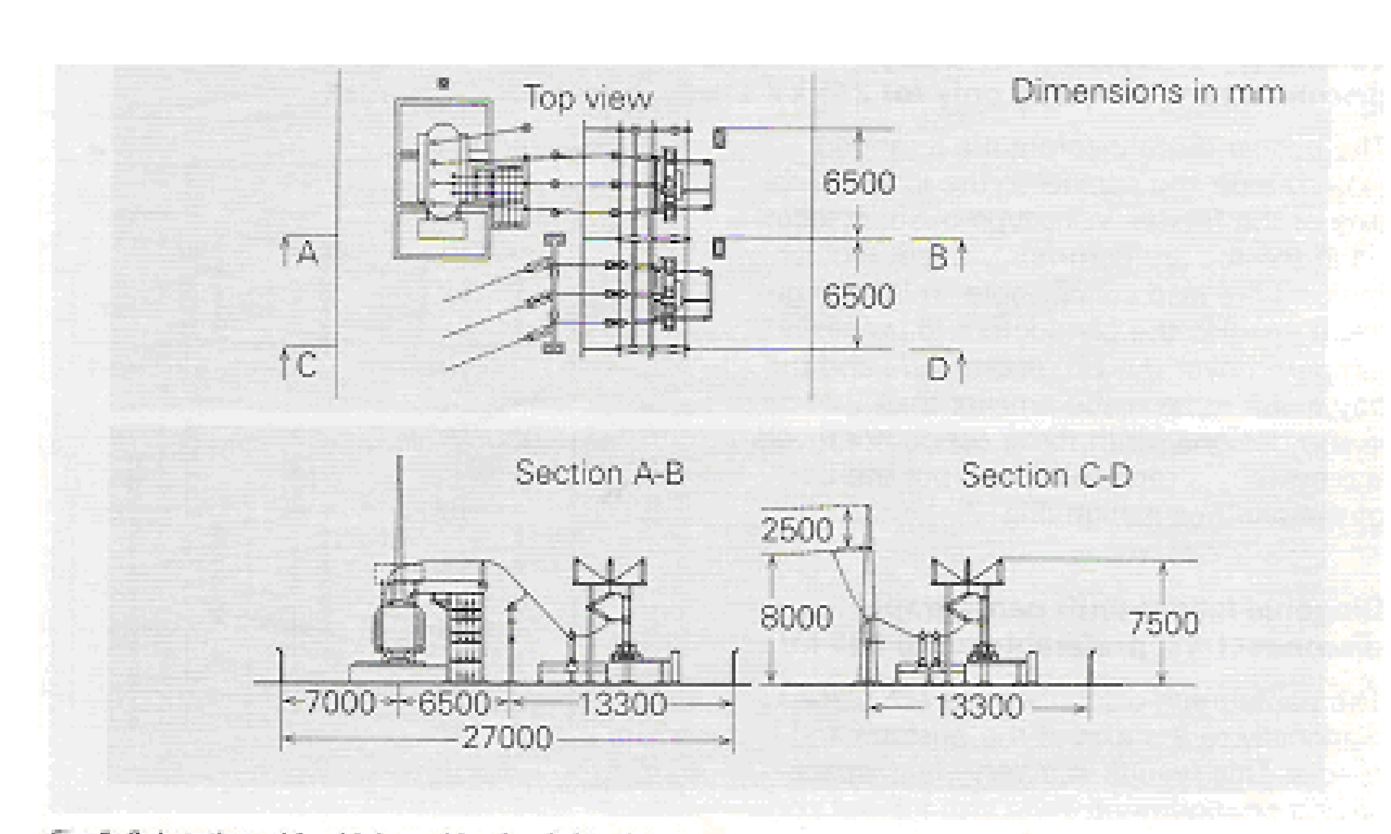


Fig. 5: Substation with withdrawable circuit-breaker

(b) Special layout for single busbars up to 145kVتصميم آحادي القضيب

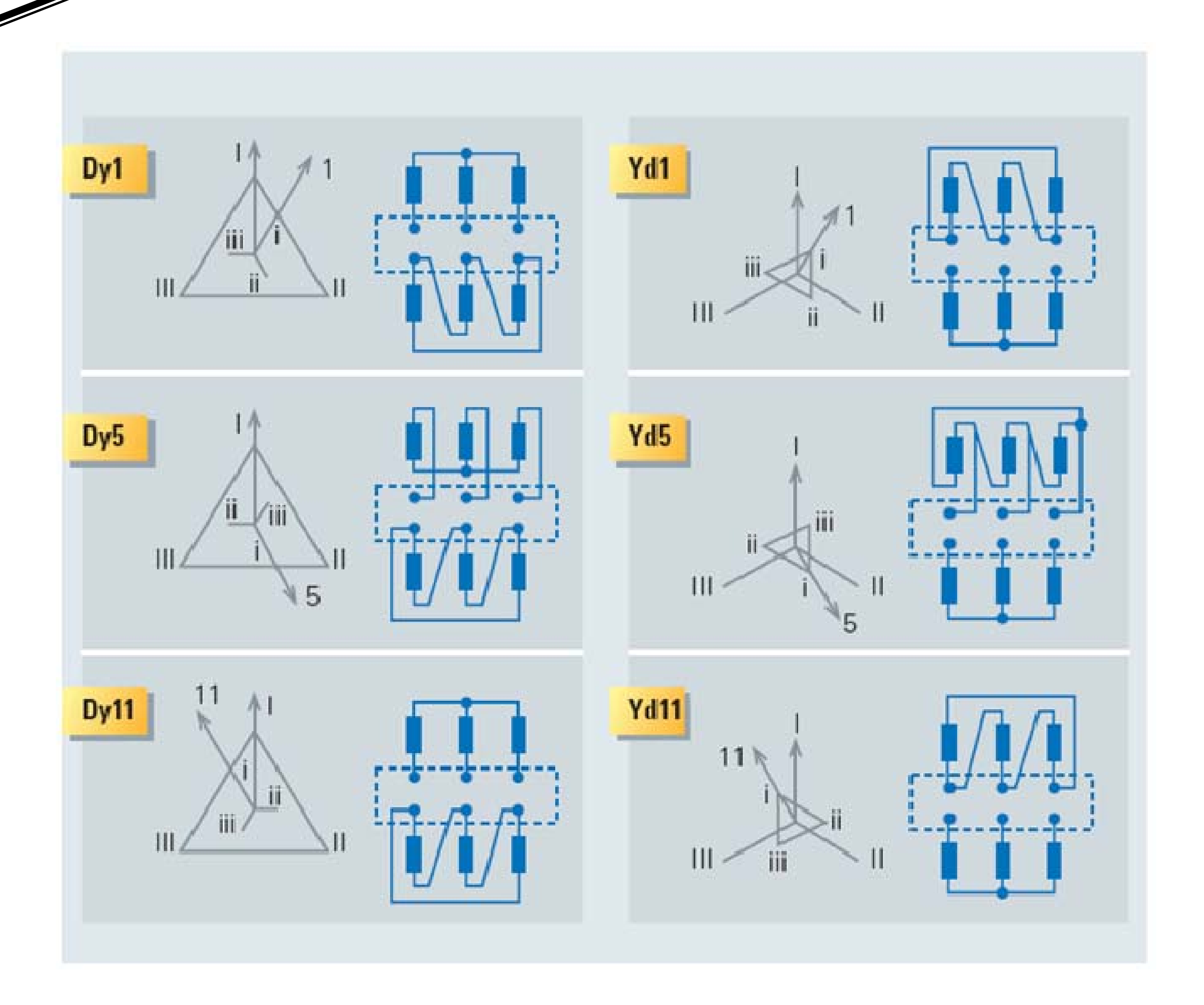
الشكل (4.3) : مخطط عام لمحطة تحويل : (a) تصميم بالبرج مركزي
(b) تصميم آحادي القضيب

محولات القدرة وطرق تبريدها

تعتبر محولات القدرة من العناصر الأساسية في منظومة النقل والتوزيع الكهربائية، وتتواجد في مستويات مختلفة من المنظومة الكهربائية حيث تكون البداية في محطات الرفع بمحولات الرفع و محولات المولد Generator transformers لتنتهي في محطات التوزيع بمحولات الخفض أو محولات التوزيع Distribution transformers. كما يختلف تصميم المحولات حسب مجال الاستخدام والقدرة المقننة و مستوى الجهد وطرق تبريدها.

المحول الموصل مباشرة إلى المولد لرفع الجهد من جهد التوليد إلى جهد النقل يسمى بمحول المولد، وتتجاوز قدرة هذا النوع من المحولات 500MVA في بعض المحطات كما يصل جهدها إلى 800kV فهي من محولات القدرة Power transformers.
أما محولات التوزيع فتتراوح قدرتها ما بين 50KVA و 2500KVA و جهدها لا يتجاوز 36kV. كمرحلة أخيرة توزع هذه المحولات الطاقة الكهربائية إلى المستهلك بتغذية شبكة التوزيع للجهد المخفض انطلاقا من شبكة الجهد المتوسط.

من خصائص المحولات طرق توصيل اللفائف الابتدائية والثانوية وكذلك الزاوية بينهما. فيكون التوصيل في النظام ثلاثي الطور نجمة (Wye Y أو y) أو دلتا (Delta Δ أو d). يتكون رمز التوصيل في المحولات من حرف أول كبير يبين طريقة توصيل اللفائف الابتدائية وحرف ثاني صغير يرمز لطريقة توصيل اللفائف الثانوية يليها رقم (0-1-5 أو 11) يحدد الزاوية بين جهد الدخل وجهد الخرج وقد استوحي هذا الترقيم من ترقيم الساعة. يمثل الرقم عدد خطوات الزاوية بين الابتدائي والثانوي حيث تمثل كل خطوة 30^o (مثال: $11=11x30^o=330^o$ في اتجاه عقارب الساعة أو 30^o في اتجاه عكس عقارب الساعة). يبين الشكل (4.4) أهم التوصيلات المعتمدة في المحولات.



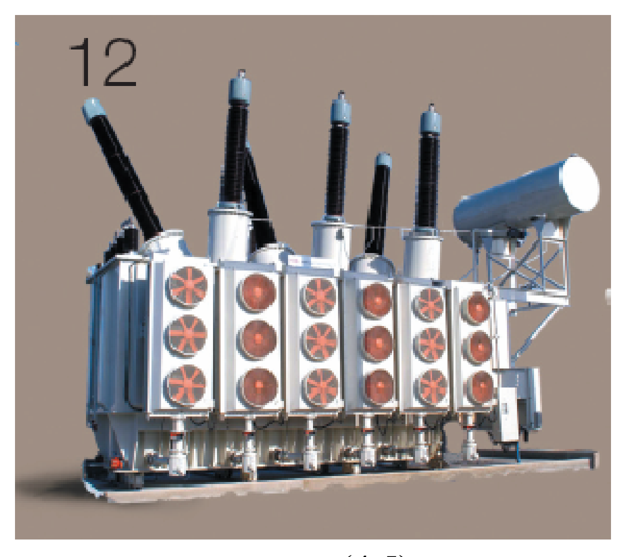
شكل (4.4): أهم التوصيلات المعتمدة في المحول

تصنف المحولات حسب طرق التبريد كمحولات جافة Dry-type transformers وهي محولات يتم تبريدها عن طريق الهواء كوسيط أساسي للتبريد والعزل أو بعض الغازات العازلة مثل غاز الفلوروكاربون C_2F_6، و محولات مغمورة في الزيت Oil filled transformers (شكل (4.5) وهي محولات يتم تبريدها عن طريق الزيت كوسيط أساسي للتبريد والعزل أو بعض الوسائل الأخرى المقاومة للحريق مثل السليكون السائل Silicone fluid وتعتبر المحولات المغمورة في الزيت الأكثر استخداما في محطات التحويل.

مانع الصواعق
اطراف الجهد العالي
اطراف الجهد المنخفض
لفائف الجهد العالي
لفائف الجهد المنخفض
خزان الزيت
راديتر لتبريد الزيت
مراوح شفط الهواء

TrafoStar™ transformers are based on the best ABB practices - a product of modularized system in both design and manufacturing.

شكل (أ)(4.5) : محول مغمور بالزيت



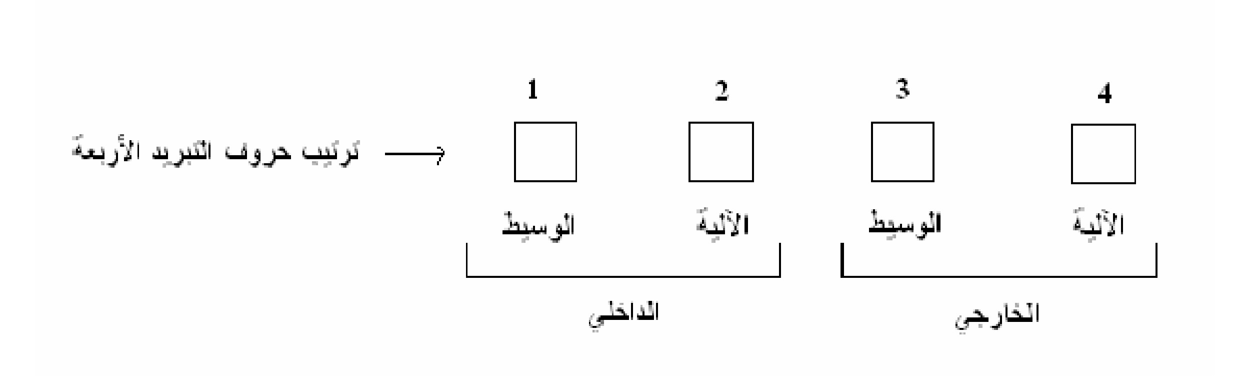
شكل (ب)(4.5) : محول مغمور بالزيت

ترتفع درجة حرارة المحولات الكهربائية وخاصة محولات القدرة نتيجة المفاقيد مما يستوجب نظام تبريد متكامل وفعال. تعتبر اللفائف و الهيكل المغناطيسي المصدر الأول للحرارة داخل المحول، لذا يكون للوسيط العازل كالزيت دورا أساسيا في نقل هذه الحرارة من داخل المحول إلى خارجه، فالحركة الطبيعية للزيت داخل المحول و عبر جدران المحول وخزان الزيت تسرع نقل الحرارة إلى المحيط الخارجي. يستخدم نظام الراديتر لزيادة التبادل الحراري مع المحيط الخارجي وتثبت هذه العناصر على جوانب المحول أو منفصلة. كما تثبت مراوح تهوية لزيادة كمية الهواء المار على مساحة التبريد مما يرفع من كفاءة التبادل الحراري كما هو موضح في الشكل (ب) .4.5.

المحولات الكبيرة كمحولات القدرة لا تكتفي بالحركة الطبيعية للزيت داخل المحول إنما يضخ الزيت خارج المحول إلى نظام تبادل حراري خارجي أو مبرد يعتمد على الماء أو الهواء كوسيط تبريد ثانوي. إذا كان التبريد يعتمد على الحركة الطبيعية للزيت داخل المحول فيسمى نظام التدفق غير مباشرNon-direct flow أو التهوية الطبيعية ONAN: Oil-natural, air-natural cooling. عند استخدام مضخة للزيت أو مراوح للتهوية فيسمى نظام التدفق المباشر direct flow أو نظام التبريد القصرية OFAF: Oil-forced, air-forced cooling

استخدام الأجهزة الإضافية في نظم التبريد كالمراوح والمضخات مع المبردات أو ما يسمى بالدورة القصرية forced circulation يرفع كفاءة التبريد وبالتالي سعة المحول دون الزيادة في حجم وخصائص هذا الأخير.

تصنف طرق التبريد للمحولات المغمورة بالسوائل (كالزيت) بنظام تعريف يتكون من أربعة حروف ترمز إلى نظام التبريد المستخدم وهي كالتالي:



	الترتيب	الرمز	الوصف
داخلي	الحرف الأول (وسيط التبريد)	O K L	سائل بنقطة تحول (Flash point) أقل أو مساوية لـ 300°C سائل بنقطة تحول (Flash point) أكبر من 300°C سائل بنقطة تحول غير محددة
	الحرف الثاني (آلية التبريد)	N F D	تدفق طبيعي عبر أجهزة التبريد واللف (Natural Convection) دورة قصرية عبر أجهزة التبريد وتدفق طبيعي عبر اللف(forced Circulation) دورة قصرية عبر أجهزة التبريد وتدفق مباشر عبر اللفائف الرئيسة (Directed flow)
خارجي	الحرف الثالث (وسيط التبريد)	A W	الهواء Air الماء Water
	الحرف الرابع (آلية التبريد)	N F	تدفق طبيعي (Natural Convection) دورة قصرية (forced Circulation)

جدول 4.1: توصيف الحروف الدالة عن نظام تبريد المحولات

مثال عن الرموز المستخدمة على المحولات:

ONAN : تبريد زيت طبيعي وهواء طبيعي Oil-natural, air-natural cooling .

ONAF : تبريد زيت طبيعي وهواء قصري Oil-natural, air-forced cooling.

اعتمد هذا المقياس عالميا بعدما كانت الولايات المتحدة تستخدم نظام مختلف. حيث رمز OA الذي كان يصنف المحول على أنه مغمور بالزيت وتبريد ذاتي في الماضي عدلت بالنظام الجديد ONAN. كذلك بالنسبة للرمز FA الذي أصبح ONAF ورمز FOA الذي تفرع إلى OFAF وODAF وذلك حسب نظام تدفق الزيت داخل المحول. يكون للمحول في بعض الحالات تقديرات متعددة Multiple ratings حسب نظام التبريد المشغل. يكون التصنيف في هذه الحال ONAN/ONAF مما يعني إن للمحول قدرة أساسية عند التبريد الطبيعي وقدرة إضافية عند تشغيل المراوح لتامين تبريد أضافي.

جدول 4.2– جداول لاختيار محولات القدرة



Power Transformers – Selection Tables
Technical Data, Dimensions and Weights

Oil-immersed three-phase power transformers with off-load tap changer 3150–10 000 kVA, HV rating: up to 123 kV

- Taps on HV side: ±2 x 2.5 %
- Rated frequency: 50 Hz
- Impedance voltage: 6-10 %
- Connection: HV winding: star-delta connection alternatively available up to 24 kV; LV winding: star or delta

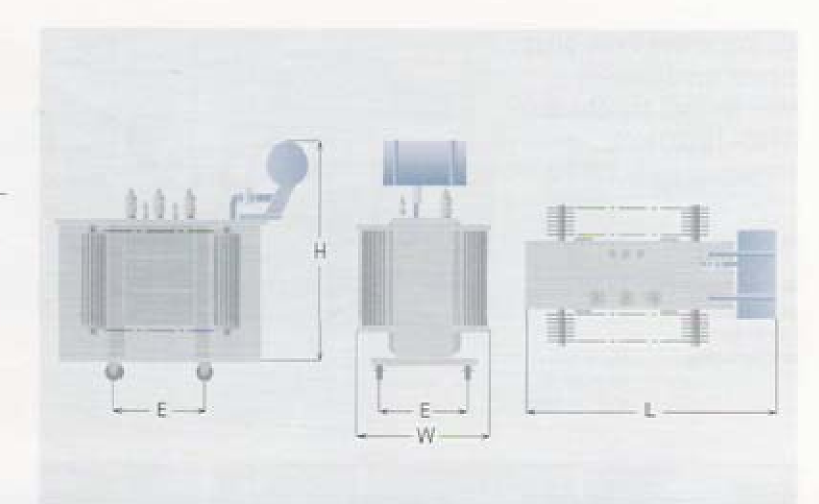


Fig. 31

Rated power [kVA] ONAN	HV rating [kV]	LV rating [kV]	No-load loss [kW]	Load loss at 75 °C [kW]	Total weight [kg]	Oil weight [kg]	Dimensions L/W/H [mm]	E [mm]
3150	6.1–36	3–24	4.6	28	7200	1600	2800/1850/2870	1070
4000	7.8–36	3–24	5.5	33	8400	1900	3200/2170/2940	1070
	50–72.5	3–24	6.8	35	10800	3100	3100/2300/3630	1070
5000	9.5–36	4–24	6.5	38	9800	2300	2550/2510/3020	1070
	50–72.5	4–24	8.0	41	12200	3300	3150/2490/3730	1070
	90–123	5–36	9.8	46	17500	6300	4560/2200/4540	1505
6300	12.2–36	5–24	7.7	45	11700	2500	2550/2840/3200	1505
	50–72.5	5–24	9.3	48	13600	3700	3200/2690/3080	1505
	90–123	5–36	11.0	53	18900	6600	4780/2600/4540	1505
8000	12.2–36	5–24	9.4	54	14000	3300	2580/2770/3530	1505
	50–72.5	5–24	11.0	56	15900	4200	3250/2850/4000	1505
	90–123	5–36	12.5	62	21500	7300	4880/2630/4590	1505
10000	15.2–36	6–24	11.0	63	16600	3900	2670/2900/3720	1505
	50–72.5	6–24	12.5	65	18200	4700	4060/2750/4170	1505
	90–123	5–36	14.0	72	25000	8600	4970/2900/4810	1505

Fig. 32

مخططات قضبان التوزيع (Bus-bars Schemes)

هناك مخططات (ترتيبات) كثيرة لقضبان التوزيع ولا بد أن يلبي أي ترتيب عدة متطلبات أهمها:

- درجة مرونة التشغيل المطلوبة
- الاعتبارات الفنية المطلوبة
- بساطة التركيب
- قابلية التطوير والتمديد
- درجة الأمان والصيانة المطلوبة
- الاعتبارات الاقتصادية، الإنتاجية وتكلفة المعدات.

وهنالك عدة عوامل يمكننا إن نحدد من خلالها نوع المحطة ومدى فاعليتها وأهمها ترتيب قضبان التوزيع وأجهزة الفصل. كما ينعكس هذا الترتيب على طرق الصيانة والحماية و التكلفة الإنشائية والتشغيلية المحطة.

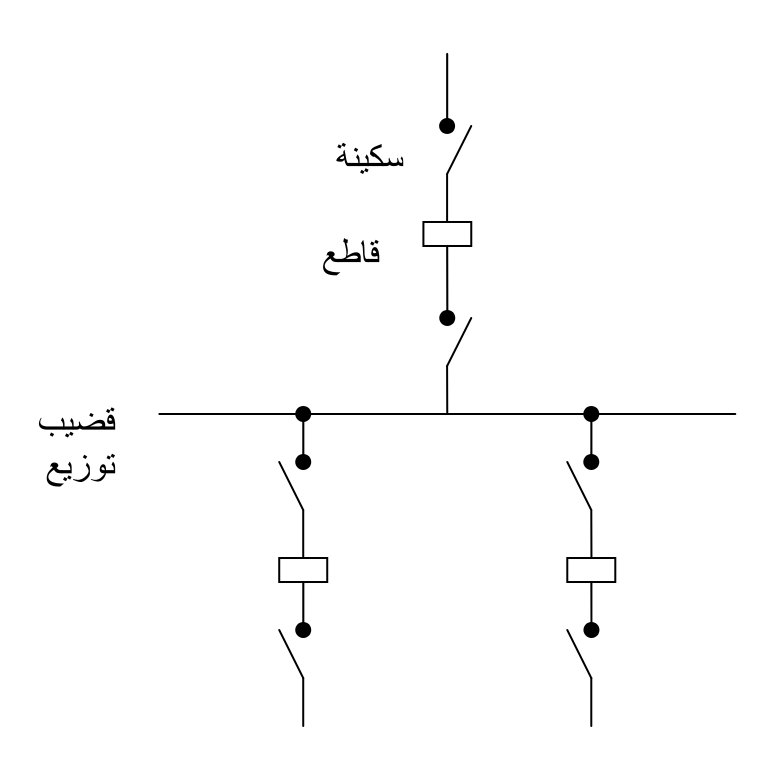
المخططات (الترتيبات) المختلفة لقضبان التوزيع

توجد ستة أنواع لمخططات (أو ترتيبان) قضبان التوزيع في المحطات المعزولة بالهواء وهي:

١. قضبان التوزيع الفردية Single Bus
٢. ثنائي القضبان وثنائي القواطع Double bus, double breaker
٣. قضبان توزيع رئيسة وقضبان تحويل Main and transfer (inspection) bus
٤. ثنائي القضبان وأحادي القاطع Double bus, single breaker
٥. قضيب توزيع حلقي Ring bus
٦. قضيب توزيع واحد ونصف قاطع one-and-half circuit breaker bus

١. قضبان التوزيع الفردية (الشكل 4.8) Single Bus

هذا الترتيب يستخدم قضيب رئيسي واحد مع توصيل كل القواطع مباشرة إلى القضيب. حيث لا يعول كثيرا على مثل هذا الترتيب في محطات القدرة وذلك لتفادي الفصل الكامل للطاقة عن المحطة بمجرد حدوث خطأ على مستوى أحد القضبان أو احد القواطع. كما يتم فصل النظام بالكامل عند الصيانة واستخدام نظام التوليد الاحتياطي إن كان متوفر.

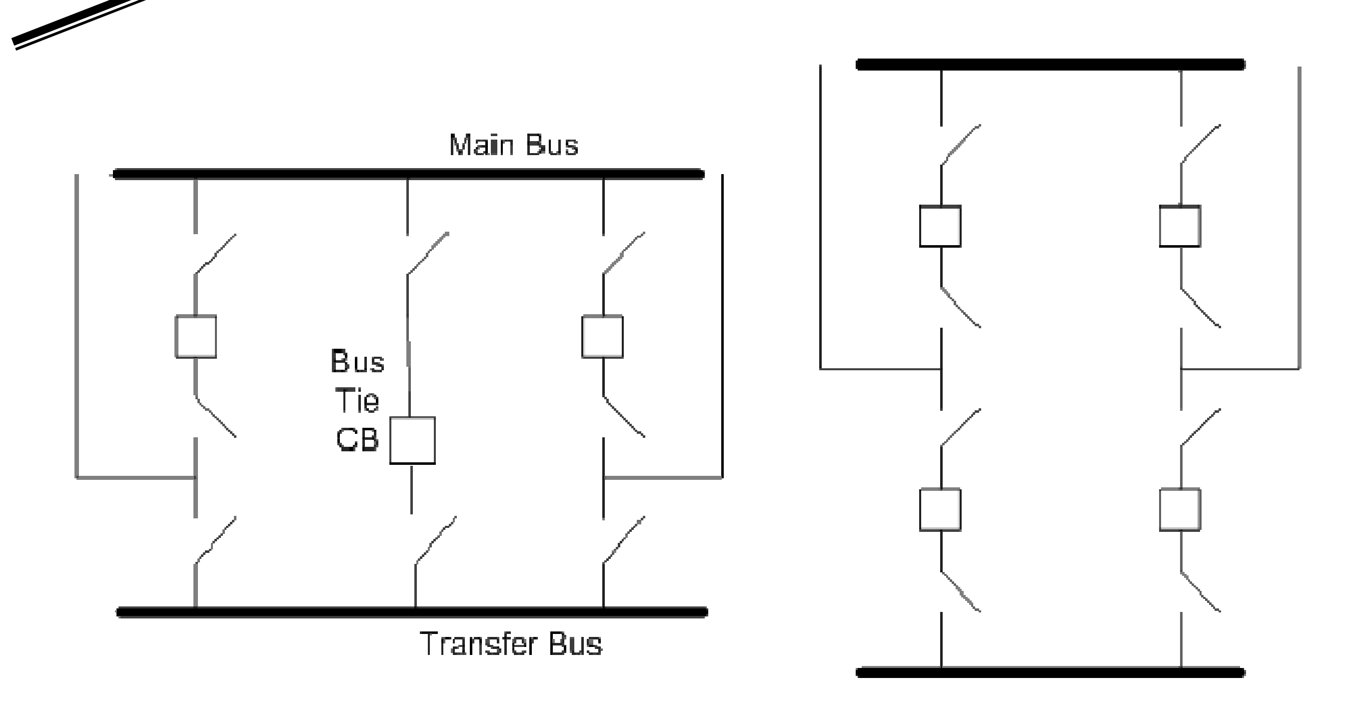


الشكل4.8: قضبان التوزيع الفردية

٢. مخطط ثنائي القضبان وثنائي القواطع (الشكل4.9) Double bus, double breaker

يعتبر هذا المخطط ذات فاعلية عالية وذلك لتوفر قاطعان منفصلان لكل دائرة و قضيبان توزيع منفصلان. فإذا حصل خطأ في احدها لا يمكن أن يؤثر على بقية الخطوط. كذلك عملية الصيانة للقضبان وقواطع الدائرة يمكن أن تتم دون فصل كامل لكل الدوائر.

المخطط ثنائي القضبان وثنائي القواطع هو ترتيب عالي التكلفة فلكل خط قاطعان ويحتاج لمساحة كبيرة لاحتواء الأجهزة الإضافية. كما تكون دوائر الحماية أكثر تعقيد من المخطط أحادي القضيب.



الشكل(4.9): مخطط ثنائي القضبان وثنائي القواطع الشكل(4.10) مخطط قضبان توزيع رئيسة وقضبان تحويل

٣. قضبان توزيع رئيسة وقضبان تحويل (الشكل4.10) **Main and transfer (inspection) bus**

ترتيب هذا المخطط يتمثل في توصيل كل الدوائر بين القاطع الرئيس و قاطع التحويل (أو قاطع المراقبة). بعض الترتيبات تضيف قاطع لربط القضبان Bus tie breaker وهو موصل بين القضيبين دون أي دائرة كهربائية. بما أن كل الدوائر موصلة لقضيب واحد وهو القضيب الرئيس تكون فاعلية هذا المخطط منخفضة نسبيا ولكن استخدام قضيب التحويل عند الصيانة يجعلها تتفادى فصل الدائرة.

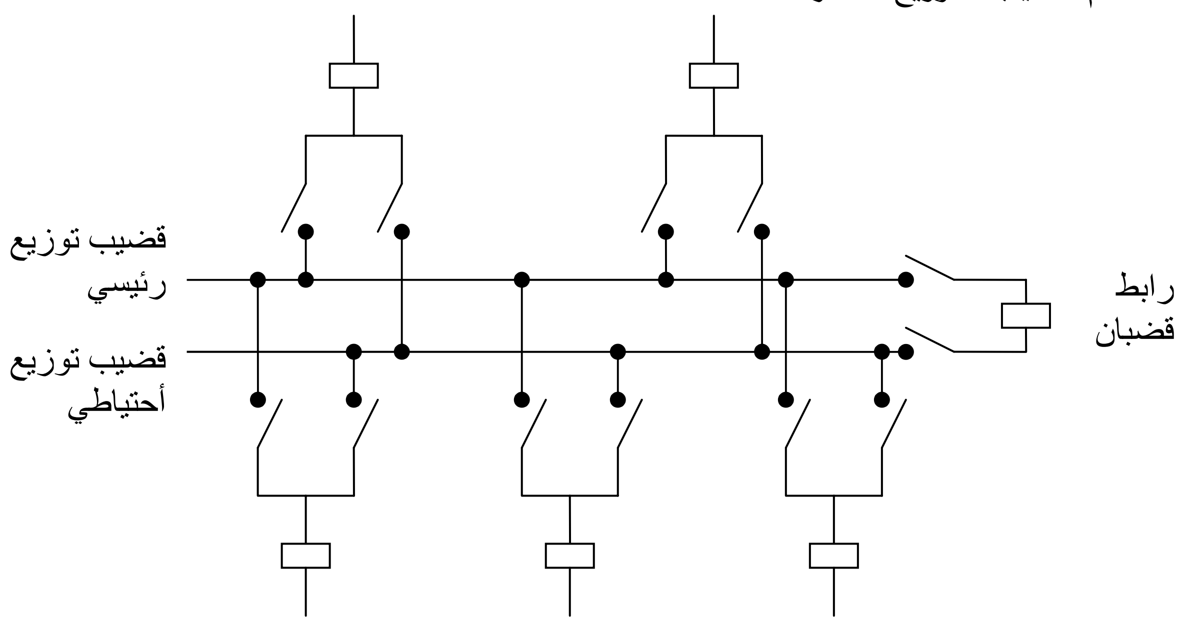
عندما تحتاج المحطة لأعمال صيانة يتم تغذية قضيب التحويل عن طريق غلق قاطع الربط (tie breaker) و عندما لا تتوفر هذه الأخيرة يتم غلق المفاتيح الموصلة لقضيب التحويل. بعد تغذية قضيب التحويل يمكن فصل القاطع أو الدائرة المراد صيانتها باستخدام مفاتيح العزل وجعلها خارج الخدمة. عند وجود قاطع الربط يقوم هذا الأخير مقام القاطع المعطل وتتم صيانته ولا توصل القواطع الأخرى لقضيب التحويل.

من عيوب هذا المخطط انعدام مرحلات الوقاية عندما توصل الدوائر إلى قضيب التحويل في حلة عطل القضيب الرئيس. ويمكن الحد من هذه المشكلة بالاعتماد على نظم وقاية خارج المحطة.

تكلفة هذا المخطط أعلى من مخطط أحادي القضيب ولكنه يوفر مرونة أكبر عند الصيانة. نظم حماية هذا المخطط تماثل تلك المستخدمة في المخطط الأحادي القضيب. أما المساحة اللازمة فتكون أكبر وذلك لاستيعاب الأجهزة الإضافية.

٤. مخطط ثنائي القضبان وأحادي القاطع (الشكل4.11) Double bus, single breaker

توفر هذه النوعية من قضبان التوزيع مرونة أكبر واستمرارية التغذية من المصدر وتسمح بعمليات الصيانة الدورية بدون حدوث فصل لمصدر التغذية وحتى في حدوث الأخطاء على أحد قضبان التوزيع يمكن استخدام قضيب التوزيع الآخر.



الشكل(4.11): مخطط ثنائي القضبان وأحادي القاطع

في هذا الترتيب يوجد أثنان من قضبان التوزيع يطلق علي الأول قضيب التوزيع الرئيس ويطلق علي الآخر قضيب التوزيع الاحتياطي. ويمكن غلق رابط قضبان التوزيع لتوصيل القضبان المزدوجة مع بعضيهما. أثناء نقل القدرة لقضيب التوزيع الاحتياطي لابد من أخذ الخطوات التالية في الاعتبار:

- غلق قاطع الربط وفي هذه الحالة تكون قضبان التوزيع المزدوجة عند نفس الجهد.
- غلق السكينة على قضيب التوزيع الاحتياطي.
- فتح السكينة على قضيب التوزيع الرئيس.

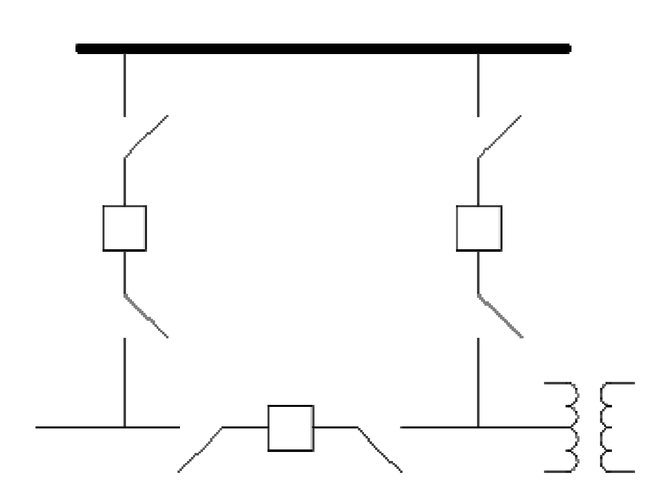
وفي هذه الحالة تكون القدرة الكهربية قد نقلت إلى قضيب التوزيع الاحتياطي وتم فصل قضيب التوزيع الرئيس

٥. مخطط قضيب توزيع حلقي (الشكل4.12) Ring bus

في هذا المخطط كل القواطع موصلة على شكل حلقة تتوسطها الدوائر. في حالة حدوث خلل في احدى الدوائر تفصل القواطع الجانبية دون أي تأثير على بقية المنظومة. كذلك عند حدوث خلل في واحد من قضبان التوزيع أو احد القواطع تفصل القواطع الجانبية فقط لعزل الخطأ وتواصل بقية المنظومة عملها.

صيانة القواطع في هذا المخطط تتم دون فصل أي دائرة بما فيها القواطع الجانبية. يتم فصل القاطع عن المنظومة للصيانة عن طريق مفاتيح العزل وتواصل بقية القواطع تغذيتها للدوائر.

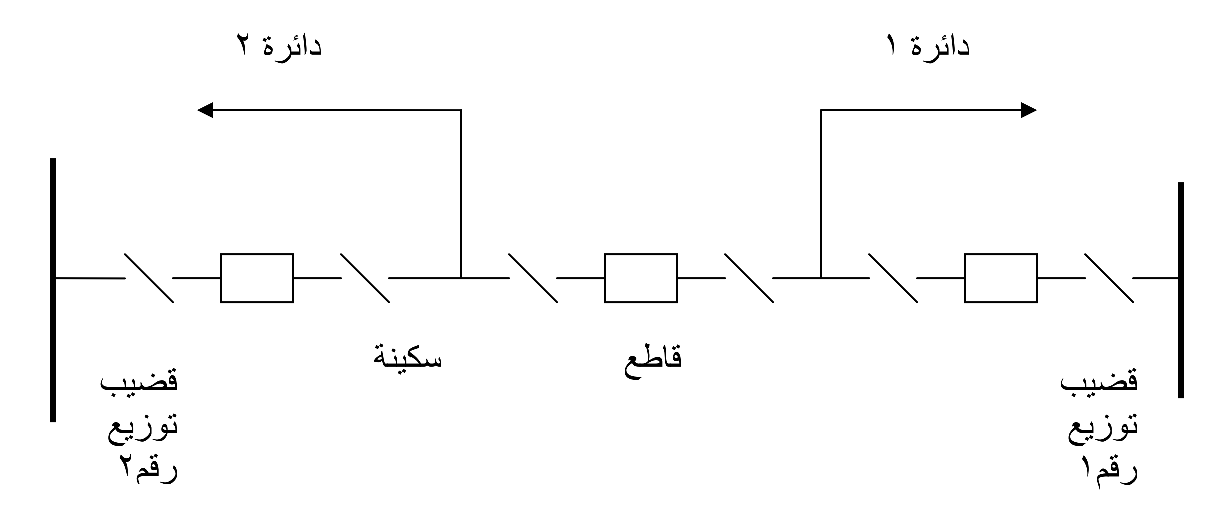
لاكتساب فاعلية اكبر يتم توصيل دوائر التغذية والأحمال بالتناوب في هذا المخطط. فذلك يقلل من احتمال انقطاع الطاقة الكهربائية الناتج عن أعطال القواطع. كما يستخدم هذا الترتيب في محطات الجهد العالي والجهد الفائق.



الشكل(4.12): مخطط قضيب توزيع حلقي Ring bus

٦. قضيب توزيع واحد ونصف قاطع (الشكل4.13) one-and-half circuit breaker bus

تستخدم هذه النوعية من قضبان التوزيع بصورة كبيرة في محطات الجهد الفائق. في هذا الترتيب تستخدم ثلاث قواطع لدائرتين أي أن عدد القواطع للدائرة الواحدة هو واحد ونصف ومن هنا اكتسب هذا الترتيب اسمه. وهذا الترتيب ملائم جدا للمحطات ذات القدرة الكهربية العالية وازداد في الآونة الأخيرة استخدام هذا النوع في المحطات الكهربية ذات الجهود الفائقة (من ٤٠٠ حتى ٧٥٠ ك ف).



الشكل(4.13): قضيب توزيع واحد ونصف قاطع one-and-half circuit breaker bus

تعطل أي دائرة سيسبب فصل القواطع الجانبية للدائرة دون التأثير على أي دائرة أخرى. إذا كان الترتيب مكون من ثلاثة قواطع على كل فرع، يسبب تعطل القاطع المركزي في فصل الدائرتين الملاصقتين للقاطع. في حين أن تعطل احد القواطع الملاصقة للقضبان يسبب فصل دائرة واحدة.
تتم الصيانة دون فصل أي دائرة. كما يمكن فصل أحد القضبان عن الخدمة دون أي انقطاع للتيار مما يجعله أحد أفضل الترتيبات من حيث الكفاءة،

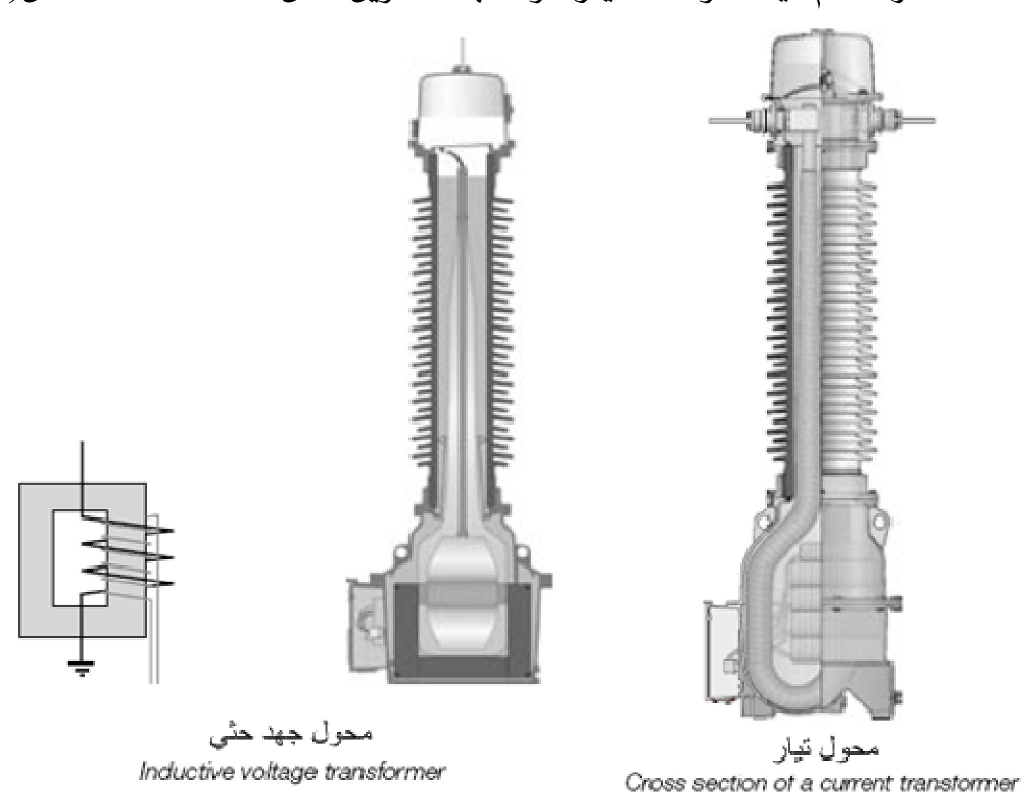
- مميزات وعيوب كل مخطط (ترتيب)

المخطط (الترتيب)	الكفاءة و الإمكانيات	التكلفة	المساحة المخصصة
قضبان التوزيع الفردية Single Bus	كفاءة منخفضة – عطل واحد يسبب فصل كامل للطاقة	تكلفة منخفضة- بعض المكونات (الأجهزة)	مساحة محدودة مكونات قليلة
ثنائي القضبان وثنائي القواطع Double bus, double breaker	كفاءة عالية – ازدواجية في العناصر المكونة- عطل واحد يفصل عنصر واحد.	تكلفة عالية- ازدواجية في المكونات (الأجهزة)	مساحة كبيرة ازدواجية في كل الأجهزة
قضبان توزيع رئيسة وقضبان تحويل Main and transfer (inspection) bus	كفاءة منخفضة – نفس مخطط أحادي القضيب ولكن مرونة في التشغيل والصيانة مع وجود قضيب التحويل.	تكلفة متوسطة – بعض المكونات (الأجهزة)	مساحة محدود مكونات قليلة
ثنائي القضبان وأحادي القاطع Double bus, single breaker	كفاءة متواضعة – تعتمد على كيفية ترتيب القضبان والأجهزة.	تكلفة متوسطة – أكثر مكونات (الأجهزة)	مساحة متوسطة مكونات أكثر
قضيب توزيع حلقي Ring bus	كفاءة عالية – عطل واحد يفصل عنصر واحد.	تكلفة متوسطة – أكثر مكونات (الأجهزة)	مساحة متوسطة تزيد مع زيادة عدد الدوائر
قضيب توزيع واحد ونصف قاطع one-and-half circuit breaker bus	كفاءة عالية – عطل أحد الدوائر يفصل دائرة واحدة أما أعطال القضبان لا تؤثر على الدوائر.	تكلفة متوسطة – قاطع ونصف لكل دائرة	مساحة كبيرة مكونات أكثر لكل دائرة

محولات قياس للجهد والتيار Voltage and current transformers

محول التيار Current transformer

هو جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية العالية. يقوم بدور التوليف بين التيارات العالية (آلاف الأمبيرات) داخل الدوائر الكهربائية الرئيسة و أجهزة القياس كالأوميتر والواتميتر (Ammeter and Wattmeter) وكذلك مرحلات الحماية التي تصمم لتيارات لا تتجاوز بعض الأمبيرات. فالعنصر الأهم في محولات التيار هو نسبة التحويل (مثل 400/1A) الشكل(4.14).



الشكل (4.14) : رسم مقطعي لمحول التيار ومحول الجهد الحثي

محول الجهد voltage transformer

هو جهاز يستخدم لقياس الجهود الكهربائية العالية. يقوم بدور التوليف بين الجهود العالية للشبكة الكهربائية (مئات الكيلوفولت) و أجهزة القياس كالفولتميتر والواتميتر (Voltmeter and Wattmeter) وكذلك مرحلات الحماية التي تصمم لجهود لا تتجاوز مئة فولت.

توجد ثلاثة تقنيات مختلفة لمحولات الجهد :

- محول الجهد الحثي Induction transformer : وهو المحول الكلاسيكي ولكن مع جهد منخفض جدا في الخرج (الشكل4.14).
- محول الجهد السعوي Capacitive transformer: وهو يعتمد تقنية تقسيم الجهد عبر قنطرة مكثفات.
- المحول الضوئي Optical transformer: وهو يعتمد على تقنية الألياف الضوئية (ظاهرة بوكلز (Pockels effect

فالعنصر الأهم في محولات الجهد هو نسبة التحويل (مثل 110000/100V).

القواطع وسكينة الفصل وسكينة الأرضي Circuit Breakers and Disconnectors

قواطع الدائرة Circuit Breakers

تعرف القواطع كأجهزة ميكانيكية للوصل (أو القطع) قادرة على توصيل و قطع تيار كهربائي تحت الجهد المقنن (الجهد الأقصى للشبكة). تعمل القواطع في الظروف العادية لتوصيل أو لفصل خط كهربائ، و في الحالات غير عادية لعزل دوائر القصر أو الحماية من الصواعق.

ويتم فصل التيار الكهربائي عن طريق قاطع الدائرة بفصل أطراف التلامس داخل وسط عازل (هواءْ، SF_6 ، الزيت أو الفراغ). بعد فصل أطراف التلامس، يواصل التيار مروره في الدائرة عبر قوس كهربائي (Electrical arc) يتكون بين أطراف التلامس داخل القاطع الكهربائي.

تصنف القواطع حسب والوسط العازل المستخدم للتبريد وتمديد القوس الكهربائي لقطع التيار. أهم أنواعها:

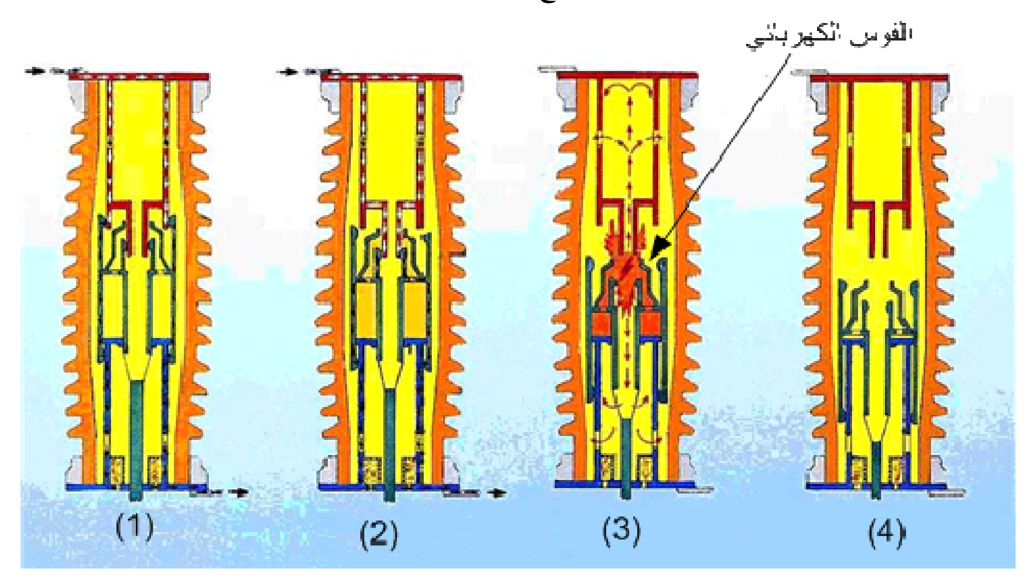
- قاطع الدائرة الهوائي المغناطيسي Air magnetic circuit breaker
- قاطع الدائرة الزيتي Oil circuit breaker
- قاطع الدائرة للدفع الهوائي Air blast circuit breaker
- قاطع الدائرة الفراغي Vaccuum circuit breaker
- قاطع الدائرة الغازي Gas circuit breaker





Air Blast   Oil Minimum SF_6 Gas

(أ): الأشكال الخارجية لقواطع الدائرة المختلفة حسب الوسط العازل



(ب): المراحل المختلفة للفصل بين نقاط التلامس داخل قاطع الدائرة

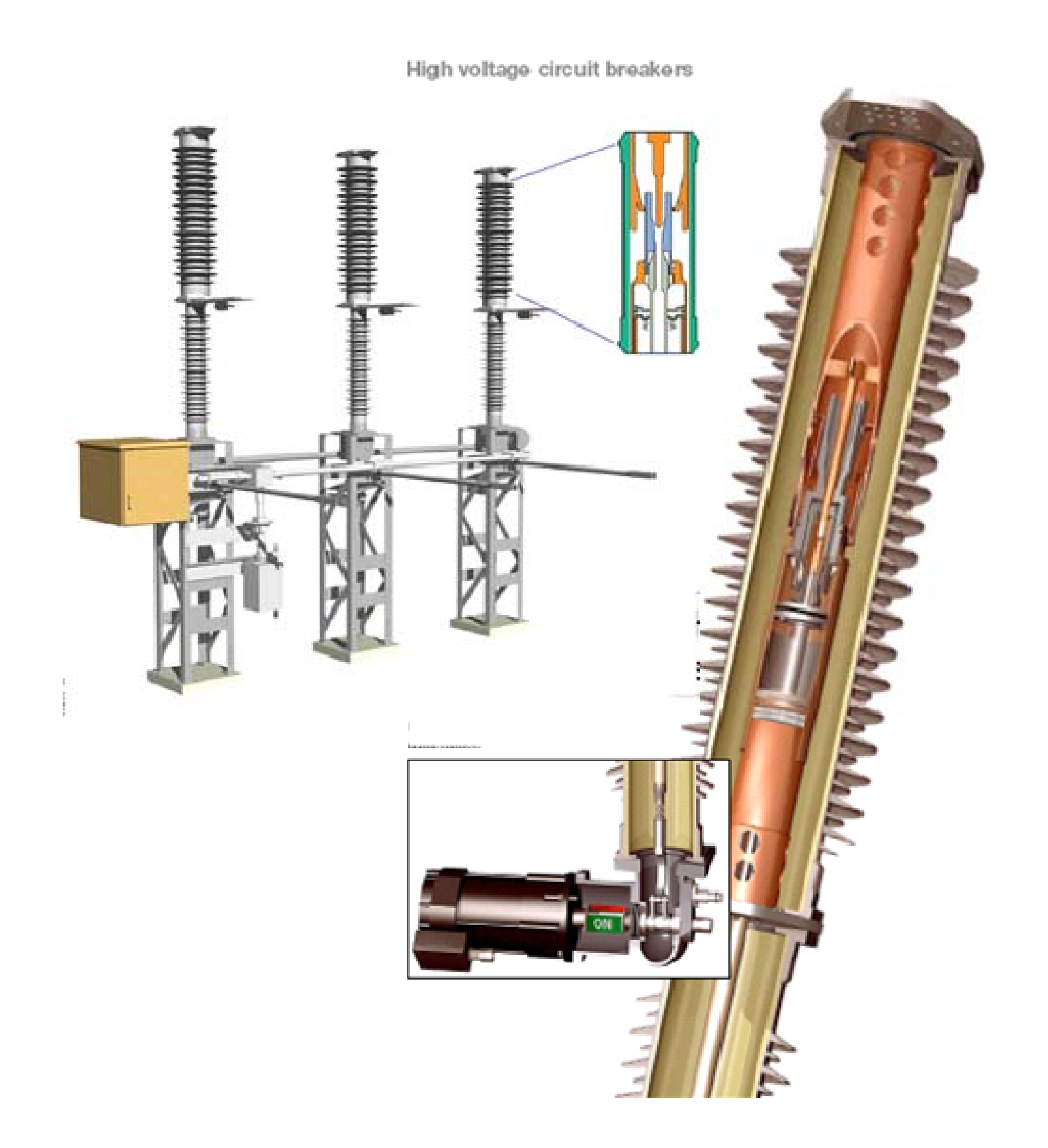
الشكل (4.15) : (أ): الأشكال الخارجية لقواطع الدائرة المختلفة حسب الوسط العازل
(ب): المراحل المختلفة للفصل بين نقاط التلامس داخل قاطع الدائرة

في الظروف العادية يكون الغاز داخل القاطع الكهربائي عازل جيد ويمكنه تحمل جهد الشبكة على أطرافه. عندما تنفصل نقاط التلامس داخل القاطع، تتعرض الفجوة بينهما لمجال كهربائي عالي و ترتفع درجة حرارة الوسط لتصل إلى آلاف الدرجات المئوية (^oC) مما يسبب تأين الغاز

العازل وحدوث القوس الكهربائي (الشكل (ب) 4.15). تحت فاعلية النفخ بالهواء المضغوط عند تشغيل القاطع، تنخفض درجة حرارة القوس الكهربائي فتختفي ظاهرة التأين ويتم قطع التيار.

تقتصر القواطع الهوائية المغناطيسية وقواطع الدفع الهوائي على المحطات القديمة حيث استبدلت بالقواطع الفراغية أو القواطع الغازية (SF_6 technology) في المحطات الحديثة.

استخدمت القواطع الزيتية على نطاق واسع في السابق ولكنها استبدلت بتقنيات قواطع جديدة للمحطات الحديثة. في القواطع الزيتية الأولى كانت نقاط الفصل مغمورة بالزيت داخل خزان معدني كبير وتسمى القواطع ذات الخزان الكبير (Dead tank Breakers) ولا يزال البعض منها في الخدمة. بعد ذلك طورت قواطع ذات خزان صغير (live tank Breakers) لتقليل كمية الزيت المستخدم للحد من خطورة وقوع الحرائق التي عرفت مع القواطع ذات الخزانات الكبيرة للزيت. يتكون القوس الكهربائي داخل أسطوانة معزولة للحد من طوله والتحكم بالطاقة التي يحتويها هذا القوس. هذه الطاقة تستعمل لتحلل وتبخر الزيت فيتولد عن ذلك الهيدروجين، مما يساهم في خفض درجة حرارة الوسط العازل وبالتالي قطع التيار عند مروره بالصفر. لهذه القواطع عيوب رئيسة وهي استخدام عدة عناصر فصل بالتوالي (لتحمل الجهد). كما تحتاج إلى صيانة دورية هامة وحساسة كتغيير الزيت. لذا تم استبدالها في المحطات الحديثة بالقواطع الغازية (SF6 breakers) التي تحتاج لصيانة أقل ولها عمر افتراضي أطول.



الشكل(4.16): المكونات الداخلية لقواطع الجهد العالي الحديثة (الغازية)

يستخدم قاطع الدائرة الفراغي (Vacuum circuit breaker) نظام فصل يتكون من أسطوانة مغلقة تحتوي على أطراف الوصل المتحركة داخل فراغ كامل. حيث يتكون القوس الكهربائي نتيجة الفصل والاحتكاك ولكن سرعان ما يخمد لانعدام الوسط الداعم له (كالزيت أو الغاز المثين) .

كما يستخدم غاز SF_6 (Sulfur hexaflouride) في القواطع الغازية بصفة عامة كوسيط فاصل وفي بعض الأحيان كوسيط عازل. يصمم نظام الفصل لضغط الغاز عند فتح الدائرة ويستخدم الغاز المضغوط لتبريد القوس الكهربائي وتمديده، مما يساعد في إخماد القوس وفصل التيار عند مروره بالصفر. في تصميم آخر للقواطع الغازية، يرفع القوس الكهربائي درجة حرارة الغاز SF_6 والضغط

الناتج عن ذلك يستخدم لتمديد وإخماد القوس. بعض القواطع القديمة تستخدم مضخة للحصول على ضغط عالي لإخماد القوس.

من خصائص القواطع الغازية SF_6 التي تفسر تفوقها على بقية الأنواع:

- بساطة غرف الفصل التي لا تحتاج إلى غرف إضافية على عكس القواطع القديمة التي تعمل بالهواء المضغوط.
- عدم الحاجة إلى ضاغط Compressor والاعتماد على تقنية الدفع الذاتي للغازات.
- إمكانية الحصول على مردود عالي يصل إلى 63kA، مع عدد محدود من غرف الفصل.
- وقت قصير لفصل العطل، من 2 إلى 2.5 دورة (Cycles) تحت جهد فائق (EHV)
- قدرة تحمل كهربائية تسمح بضمان عمر افتراضي لا يقل عن 25 سنة.
- الأمان عند التشغيل
- أصوات منخفضة عند التشغيل.

سكينة الفصل Disconnect switch

سكينة الفصل عبارة عن جهاز ميكانيكي يستخدم لفصل دائرة كهربائية عن المصدر يدويا، كما يستخدم لعزل عناصر الشبكة كخط النقل أو جزء من المحطة لغاية الصيانة. يتم تثبيت سكينة فصل على كل جهة من جهات الجهاز لضمان العزل الكامل عند الفصل للصيانة. بالرغم من وضع سكين الفصل المفتوح، يتم توصيل الأرضي لأطرافها للتأكد من عدم بقائها تحت أي جهد وذلك لتأمين السلامة.

يجب أن يكون وضع السكين واضح ومبين للمستخدم دون أي التباس. كما يمكن تثبيت الوضع بقفل ليضمن المشغل عدم تشغيل الدائرة بالخطأ.

الفرق بين سكينة الفصل والقواطع أو المفاتيح هو عدم قدرتها على الفصل أو التوصيل الذاتي. فمن الضروري فصل الأحمال قبل استخدام سكينة الفصل تفاديا للقوس الكهربائي.

بعض سكاكين الفصل يمكن أن تشغل أحادية الطور أو ثلاثية الطور. كما تزود سكينة الفصل بنظام تشغيل حتى يتسنى للمشغل التحكم فيها عن بعد من منصة التشغيل. يستخدم نظام التشغيل ذراع متحرك أو ناقل للحركة لتسهيل عملية التحكم اليدوي. يزود نظام التشغيل بمحرك عند الحاجة لنظام التحكم عن بعد.

تختلف تصميمات سكينة الفصل من محطة إلى أخرى:

- الفصل الرأسي Vertical break
- سكينة فصل مزدوجة Double break switches
- سكينة فصل على شكل V (V switches)
- سكينة فصل مركزي (Center-break switches)
- سكينة ارضي (Grouding switches)

تعدل المسافة بين الأطوار لتناسب المسافة بين قضبان التوزيع داخل المحطة.

سكينة الأرضي Grounding switch

تحتاج سكينة الفصل للجهد العالي لنظام تأريض كما هو موضح على الشكل(4.17). وهو عبارة عن جهاز موصل إلى الأرض يثبت الدائرة خارج الجهد ليسمح بالتدخل البشري بكل أمان. يميز سكينة الفصل قدرتها على تحمل تيار القصر حيث يصل إلى 63kA. وكذلك قدرة العزل عند الجهود الفائقة.





- Three different service positions: closed, open or disconnected
- Visual indication by position of the grounding switch



On-Closed/Off-Open and live



Off-Open, disconnected and grounded

الشكل(4.17): سكينة فصل 110kV

أجهزة الإنذار والحماية ضد الحريق

الكابلات هي مصدر الخطورة الأساس في المحطات الكهربائية حيث يمثل مزيج من المواد القابلة للاشتعال ومصدر للشرارة. حدوث خطأ في أحد الكابلات يمكن أن يسبب حرارة كافية لإشعال العازل وإحداث حريق.

كما تتمثل خطورة الأجهزة المعزولة بالزيت كالمحول أو قاطع الدائر في قابلية الزيت للاشتعال عند حدوث خطأ كهربائي داخل الجهاز. كما يعتبر تسرب الماء داخل الأجهزة أو حدوث خطأ في الجسم العازل من أسباب حدوث الشرارة وحصول الحريق.

كما تشمل مصادر الخطورة في بعض المحطات الكهربائية مولدات الديزل و ضاغط الهواء لما تحتويه من مواد قابلة للاشتعال مع الشرارة.

إجراءات الوقاية من الحريق (Fire protection measures) :

تنقسم إجراءات الوقاية إلى إجراءات ثابتة (passive measures) و **إجراءات** نشطة (Active measures) وأخرى يدوية. هنالك إجراءات ثابتة للحد من انتشار الحريق يتم من خلالها حصر الحريق في مكان محدد كاستخدام جدران عازلة للحرارة وقادرة على تحمل النيران لمدة طويلة. تتضمن IEEE 979 التعليمات الخاصة بهذه **إجراءات** عند تصميم محطات التحويل.

أما الإجراءات النشطة فهي للوقاية الآلية من الحريق حيث تتضمن التنبيه لوجود حريق وإطفائه أو التحكم فيه. هذه **إجراءات** صممت لإطفاء أو التحكم في الحريق في مراحله الأولى وتجنب المخاطرة البشرية أو الخسائر المادية.

نظام الإطفاء الآلي يتكون من عنصر الإطفاء، صمام التحكم، نظام التوزيع وأجهزة الكشف والتحكم. عنصر الإطفاء يمكن أن يكون خزان للمياه أو مصدر طبيعي للماء . صمامات التحكم النموذجية هي صمامات الرش (Sprinklers valves) أو صمامات الغمر (Deluge valves) ، نظام التوزيع يتكون من مواسير ومنافذ قادرة على إيصال عنصر الإطفاء بالشكل المطلوب والكمية المطلوبة إلى مكان الحريق. أجهزة التحكم والكشف عن الحريق هي عبارة عن أجهزة كهروميكانيكية مجهزة بحساسات قادرة على اكتشاف الحريق في مراحل مبكرة جداً أي في بداياته وإرسال إشارات إلى أجهزة الإنذار والتحكم في نظام الإطفاء. تتضمن IEEE 979 تفاصيل كل هذه الأجهزة وطرق استخدامها.

البطاريات Batteries

تستخدم البطاريات في محطات التحويل لتأمين الطاقة الكهربائية لأجهزة التحكم والاتصال وكذلك أجهزة الإنذار والحماية، حيث تعمل كل هذه الأجهزة بالتيار المستمر وتحت جهود منخفضة.
ويتم شحن البطاريات بصفة متواصلة عن طريق نظام تقويم يحول التيار المتردد للشبكة إلى تيار مستمر.
كما تحتاج البطاريات لصيانة دورية يتم فيها مراقبة مدى فاعليتها أو صلاحيتها واستبدالها عند الضرورة.
و تعمل البطاريات على تغذية نظام التغذية المستمر UPS system عند انقطاع التيار المتردد لفترات محدودة.
مكونات البطاريات وطرق عملها:
تتكون البطاريات من مجموعة خلايا متصلة علي التوالي. وتنقسم الخلايا إلي نوعين رئيسيين هما: الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية. العمليات الكيميائية في الخلايا الابتدائية هي عمليات غير عكسية وبالتالي لا يمكن شحنها وتستهلك المادة الفعالة أثناء التفريغ لذلك لا نستطيع استعمالها بعد التفريغ ويتم التخلص منها. أما الخلايا الثانوية وتسمي أيضا خلايا التخزين فعملياتها الكيميائية هي عمليات عكسية ولا تستهلك المادة الفعالة أثناء التفريغ لذلك فهي قابلة لإعادة الشحن بمرور تيار في الاتجاه العكسي للبطارية.
تقنن البطاريات بالجهد و سعة الأمبير ساعة للبطارية وهي عدد الأمبير ساعة التي يمكن دفعها تحت الحالات المعينة من درجة الحرارة ومعدل التفريغ و الجهد النهائي.

البطاريات الحمضية

معظم بطاريات التخزين التي تستعمل هي بطاريات الرصاص الحمضية. وهي تتكون من الأجزاء التالية:

المحتوى : المطاط
الأنود : فوق أكسيد الرصاص
الكاثود : الرصاص الأسفنجي
الألكتروليت : محلول حمض الكبريتيك والماء

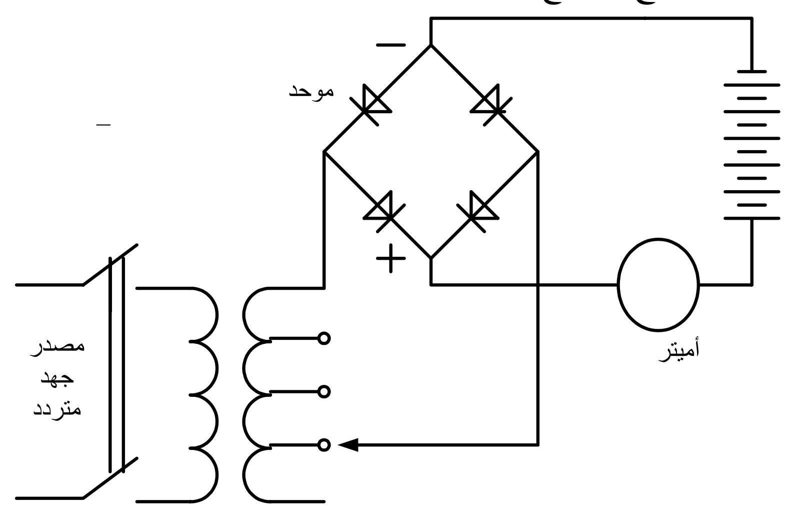
الفاصل بين الكاثود والأنود يستخدم أما من المطاط/الفيبر أو من الزجاج/البلاستيك. عمليات الشحن والتفريغ هي عمليات عكسية وتكون التفاعلات الكيميائية كالتالي:

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \underset{charge}{\overset{discharge}{\longleftrightarrow}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

يتحول كلا من الأنود والكاثود أثناء عملية التفريغ بفعل العمليات الكيماوية إلى كبريتات الرصاص أما أثناء عملية الشحن فيتحول لوح كبريتات الرصاص إلي الحالة الأصلية له أي فوق أكسيد الرصاص والرصاص. لا يجب ترك هذه الخلايا في حالة التفريغ مدة طويلة حتى لا يتصلب لوح كبريتات الرصاص ولا يحتوي على ثقوب وتصبح البطارية في هذه الحالة غير قابلة للشحن الكامل. يجب إضافة الماء المقطر إذا أصبح مستوى المادة الألكتروليتية أقل من المطلوب.

شحن البطاريات الحمضية

يتكون شاحن البطاريات الحمضية من محول ذو تفريعات ودائرة توحيد موجة كاملة ويدفع التيار أثناء عملية الشحن للبطارية من الاتجاه العكسي للاتجاه العادي لمرور التيار وترك الغطاء البلاستيكي للخلايا غير مثبت أو نزعه للسماح بخروج الفقاعات.









شكل(4.18) شحن البطاريات الحمضية

هناك طريقتان لإعادة شحن البطاريات الحمضية:-

- طريقة الشحن السريعة: في هذه الطريقة تعطي البطاريات تيار شحن عاليا لشحنها في أقصر وقت ويجب أن لا يتعدي التيار نصف القيمة المقننة للبطارية (أمبير- ساعة).
- طريقة الشحن البطيئة: وهذه الطريقة هي المفضلة لعمليات الشحن ومع الزيادة الكبيرة في وقت الشحن تتم إعادة تحويل كبريتات الرصاص البلورية التي تكونت أثناء التفريغ إلى مادة مسامية نشطة ويجب أن يكون تيار الشحن قليل (من 1 إلى 2 أمبير).

برنامج الصيانة:

اليومي: - فحص نظري

الأسبوعي: - فحص البطاريات نظريا

- تنظيف السطح و التحقق من جودة الوصلات وطرف القابس.

الشهري: - فحص مستوى الألكتروليت

- بدء الشحن إذا لم يبدأ أتوماتيكيا
- تنظيف الأطراف وإعادة توصيلها
- تنظيف السطح العلوي بمحلول ثنائي كربونات الصوديوم مع الماء ثم تجفيف السطح

نصف سنوي: - فحص مستوى الألكتروليت وجاذبيته النوعية ومعدل الشحن و ساعات الشحن وجهد كل خلية بالبطارية.

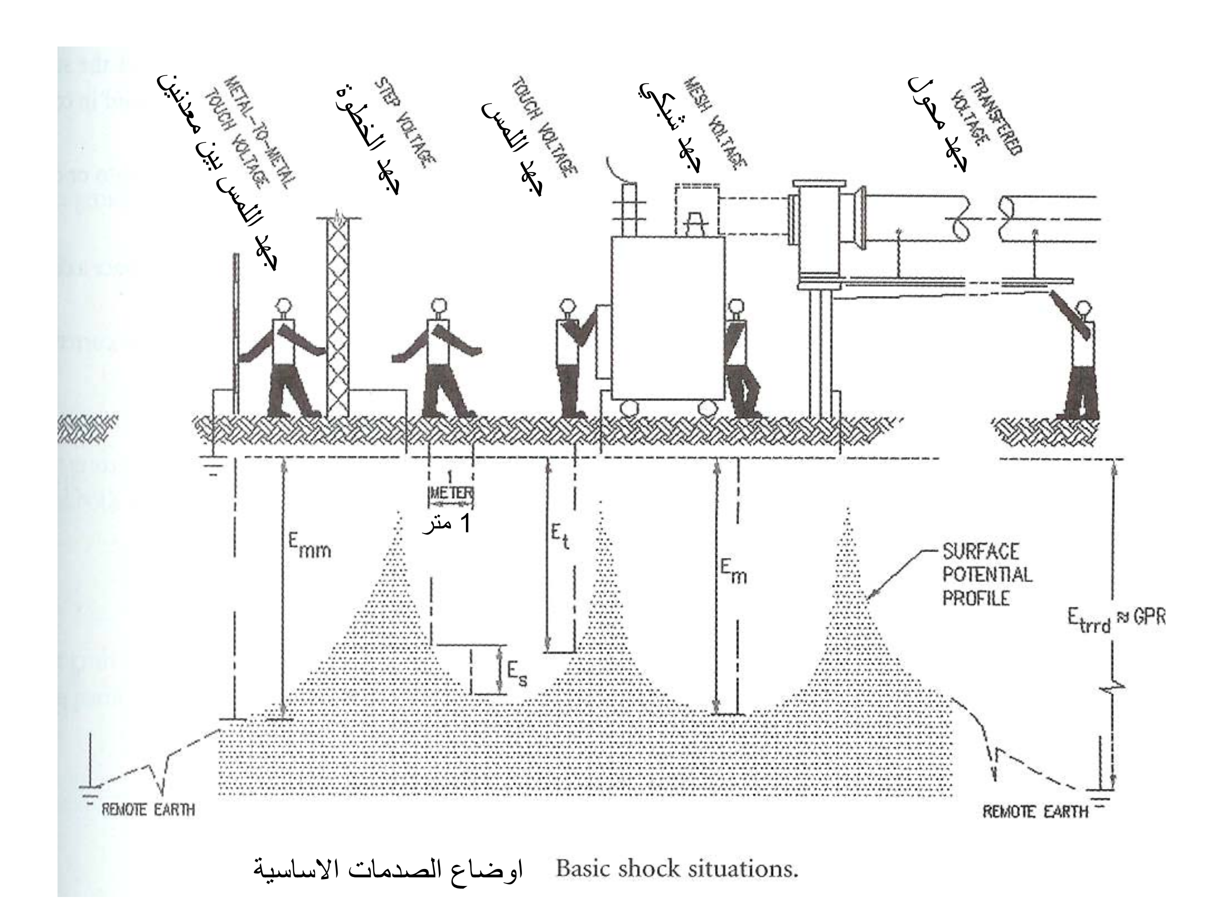
تأريض المحطة Substation Earthing

يعتبر التأريض الخطوة الأولى والأهم في تصميم وبناء المحطات الكهربائية. وهو نظام توصيل إلى الأرض قادر على تمرير تيارات الخطأ بسهولة وبأعلى قيمة حيث توصل إليه نقاط التوازن في المحولات transformer neutrals ومعوقات التأريض earthing impedances. كما يؤمن نظام التأريض عدم حدوث أضرار حرارية أو ميكانيكية للأجهزة داخل المحطة وبذلك يوفر محيط آمن للأشخاص العاملين في الصيانة والتشغيل.

يضمن نظام التأريض توازن الجهد على أرضية المحطة لتجنب التعرض الخطير لجهد الخطوة.

عند تصميم المحطة تؤخذ بالاعتبار ثلاثة أنواع من الجهود كالتالي:

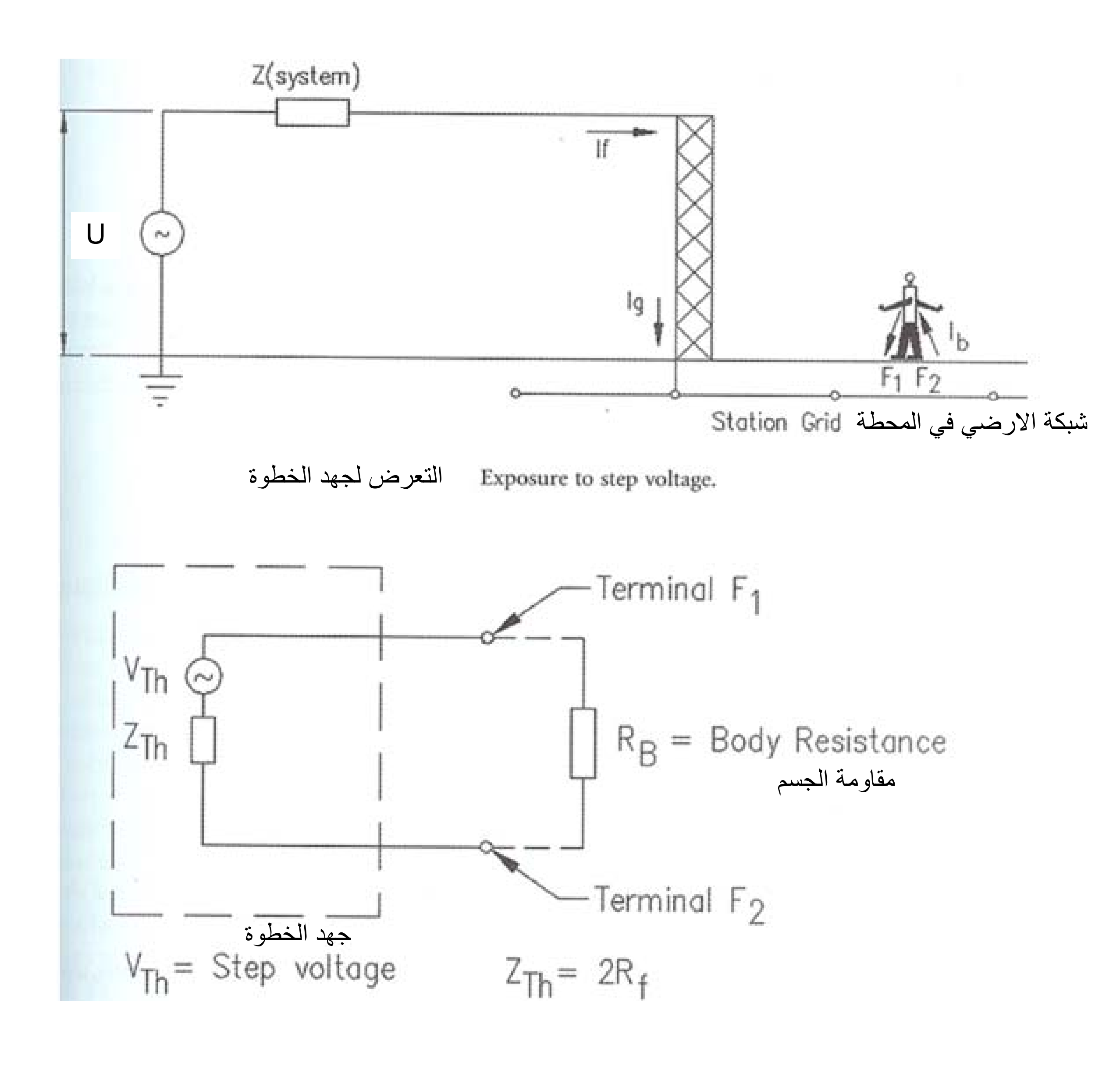
- جهد اللمس Touch Voltage : وهو الفرق في الجهد بين أرضية المحطة والهياكل المؤرضة. حيث يتعرض الشخص لهذا الجهد عند وقوفه داخل المحطة ولمس احد هذه الهياكل المؤرضة. يبين الشكل(4.19) عملية تفريغ تيار الخطأ في الأرض عبر نظام تأريض المحطة وشخص يلمس هيكل معدني مؤرض.



اوضاع الصدمات الاساسية Basic shock situations.

الشكل(4.19): الأوضاع الأساسية للتعرض للصدمات الكهربائية

- جهد الخطوة Step Voltage : وهو الفرق في الجهد الحاصل بين قدمي الشخص عند تخطيه مسافة متر واحد دون لمس أي أجهزة مؤرضة أخرى كما يوضح الشكل 4.20 - 4.19.
- جهد عين الشبكة Mesh Voltage : وهو أعلى قيمة لجهد اللمس الحاصل في عين شبكة التأريض داخل المحطة (الشكل 4.19).



الشكل4.20: الدائرة المكافئة لجهد الخطوة

منهجية حسابات التأريض في المحطات Substation Earthing Calculation Methodology:

تعتمد حسابات معاوقة الأرض و جهد اللمس وجهد الخطوة على قياسات ميدانية للمقاومة النوعية للأرض ground resistivity ومستويات الأعطال. حيث يتم تحليل نموذج لشبكة الأرضي بموصلات خاصة لتحديد المقاومة الأرضية الفعلية للمحطة، ومنها يتم حساب جهد التأريض Earthing voltage.

في الواقع العملي، من الطبيعي أخذ أعلى قيمة لتيارات الخطأ داخل المحطة لحساب شبكة ألأرضي.

لتحديد المقاومة النوعية للأرض تستخدم أجهزة قياس خاصة في الميدان. وللحصول على قياسات دقيقة تتم التجربة في الطقس الجاف.

أجهزة التأريض:Earthing Materials

- الموصلات Conductors: تستخدم القضبان النحاسية كموصلات لبناء شبكة الأرضي في المحطات الكهربائية و تبلغ مساحة مقطع القضيب الواحد $95mm^2$ و تدفن القضبان على عمق يتراوح بين 0.25-0.50 m في مساحة تراوح بين 3-7m.
- التوصيلات Connections: لا تستخدم عملية اللحام في التوصيل مع الشبكة أو مع أي نقطة تأريض لأن تيارات الخطأ العالية تسبب انصهار وتلف لهذا اللحام. لذا تتم عملية التوصيل بمسامير شد وتكون هذه الوصلات مقصدرة (مطلية بالقصدير لمنع الصدأ).
- قضبان التأريض Earthing Rods : تدعم شبكة الأرضي بقضبان تأريض للمساعدة على تبديد تيارات الخطأ الأرضي والحد من المقاومة الأرضية للمحطة. وغالبا ما تصنع هذه القضبان من النحاس الصلب أو من الحديد المكسو بالنحاس.
- تأريض سياج محطة التحويل Switchyard Fence Earthing : توسع شبكة الأرضى إلى خارج سور المحطة بمسافة تتراوح بين 0.5m و1.5 m. ويتم ربط السور بالشبكة على مسافات منتظمة.

كما يمكن وضع سور المحطة خارج محيط شبكة التأريض وربطه بشبكة تأريض خاصة به تكون منفصلة عن شبكة التأريض الرئيسة للمحطة.

يشمل نظام التأريض كل وسائل التأريض المتصلة داخل المحطة، مثل:

- شبكة الأرضي Ground grid
- أسلاك الأرضي الهوائية Overhead ground wires
- موصلات التعادل (النوترل) Neutral conductors
- الكابلات الأرضية Underground cables
- الأسس Foundations

معيار التصميم لنظم التأريض:

معيار التصميم لنظام التأريض في المحطات الكهربائية هو الحد من جهد الخطوة Step voltage وجهد اللمس Touch voltage في مستوى أقل من القيم المسموح بها و المحددة بالمعادلات التالية:

$$E_m = \frac{\rho . K_m . K_i . I_G}{L_m}$$

حيث:

E_m : جهد الخطوة Step voltage:

ρ :المقاومة النوعية للأرضية Soil resistivity:

K_m : المعامل الهندسي لشبكة الأرضي The geometrical factor

K_i : معامل التصحيح The correction factor

I_G(p.u) : متوسط التيار المار بموصلات التأريض المدفونة The average current in the grounding system

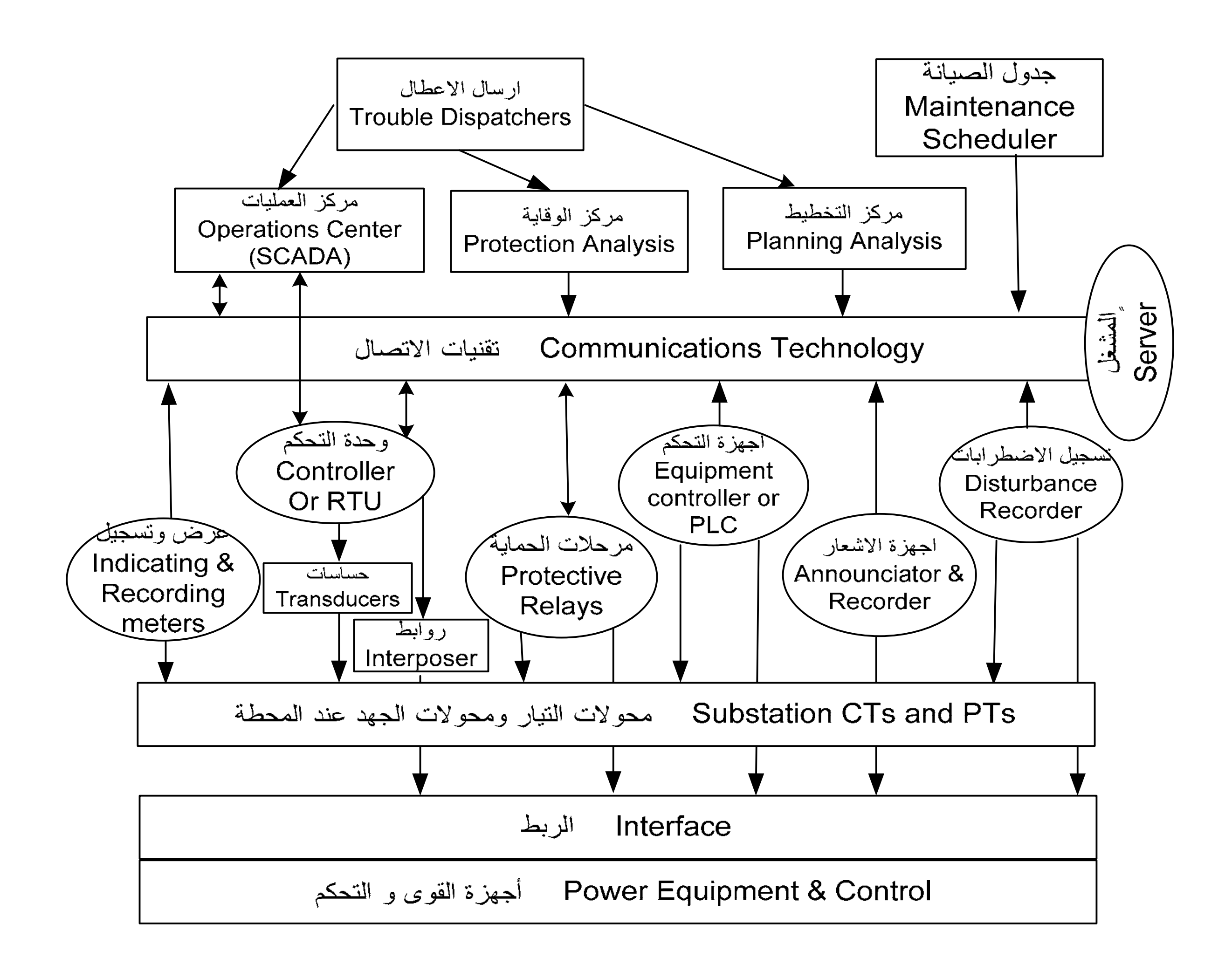
L_m : طول موصلات التأريض المدفونة The length of the conductor that makes up the grounding system

يحتوي دليل السلامة في تأريض محطات التيار المتردد (IEEE-80 Guide for safety in AC substation grounding) على معلومات عامة عن تأريض المحطات والمعادلات الخاصة لتصميم نظام تأريض آمن.

أجهزة التحكم Components of a substation automation system

يستخدم نظام التحكم الأوتوماتيكي لمحطات التحويل مجموعة من الأجهزة المختلفة كمنظومة متكاملة تربطها تقنية اتصال متطورة لتشغيل والتحكم في المحطة أهمها:

- أجهزة إلكترونية ذكية Intelligent electronic devices (IEDs) لتشغيل أجهزة الحماية، أجهزة التحكم المبرمج (PLC), وأجهزة القياس وكذلك التحكم في أجهزة القدرة ذات المواصفات المختلفة.
- أجهزة الاتصال والربط كوحدة الربط الرئيسة التقليدية Conventional remote terminal unit. (RTU) حيث تؤمن هذه الأجهزة الاتصال والربط بين مركز التحكم ومكاتب الصيانة أو المراكز الهندسية.
- نظام SCADA: حيث توصل اغلب المحطات إلى نظام SCADA System Master Station التقليدي للربط المباشر والآني من مركز التحكم الرئيس للشبكة.



الشكل(4.21) : الشكل التخطيطي لنظام التحكم الأوتوماتيكي لمحطات التحويل

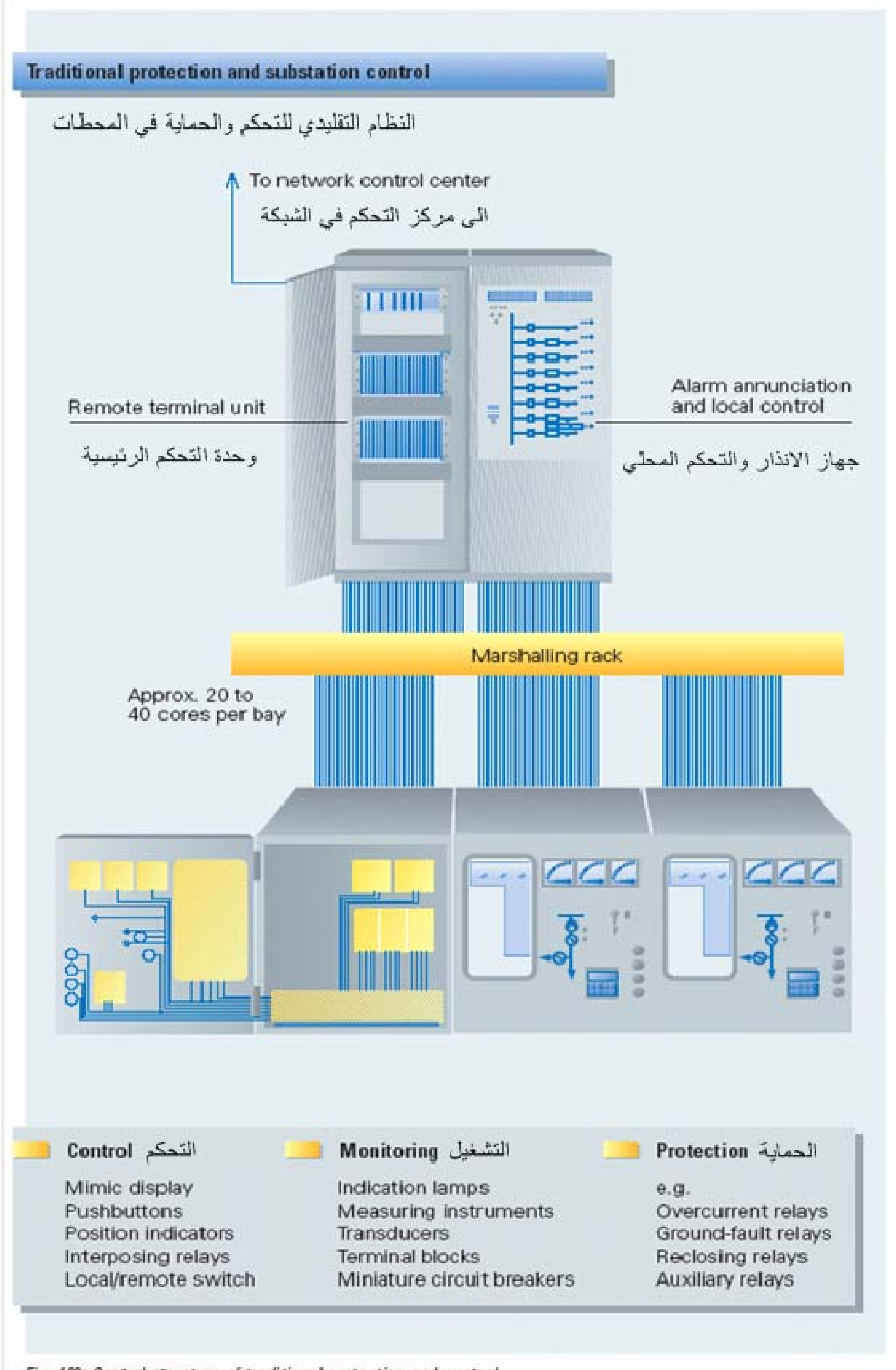


Fig. 132: Central structure of traditional protection and control

الشكل (4.22): النظام التقليدي للحماية والتحكم في المحطات

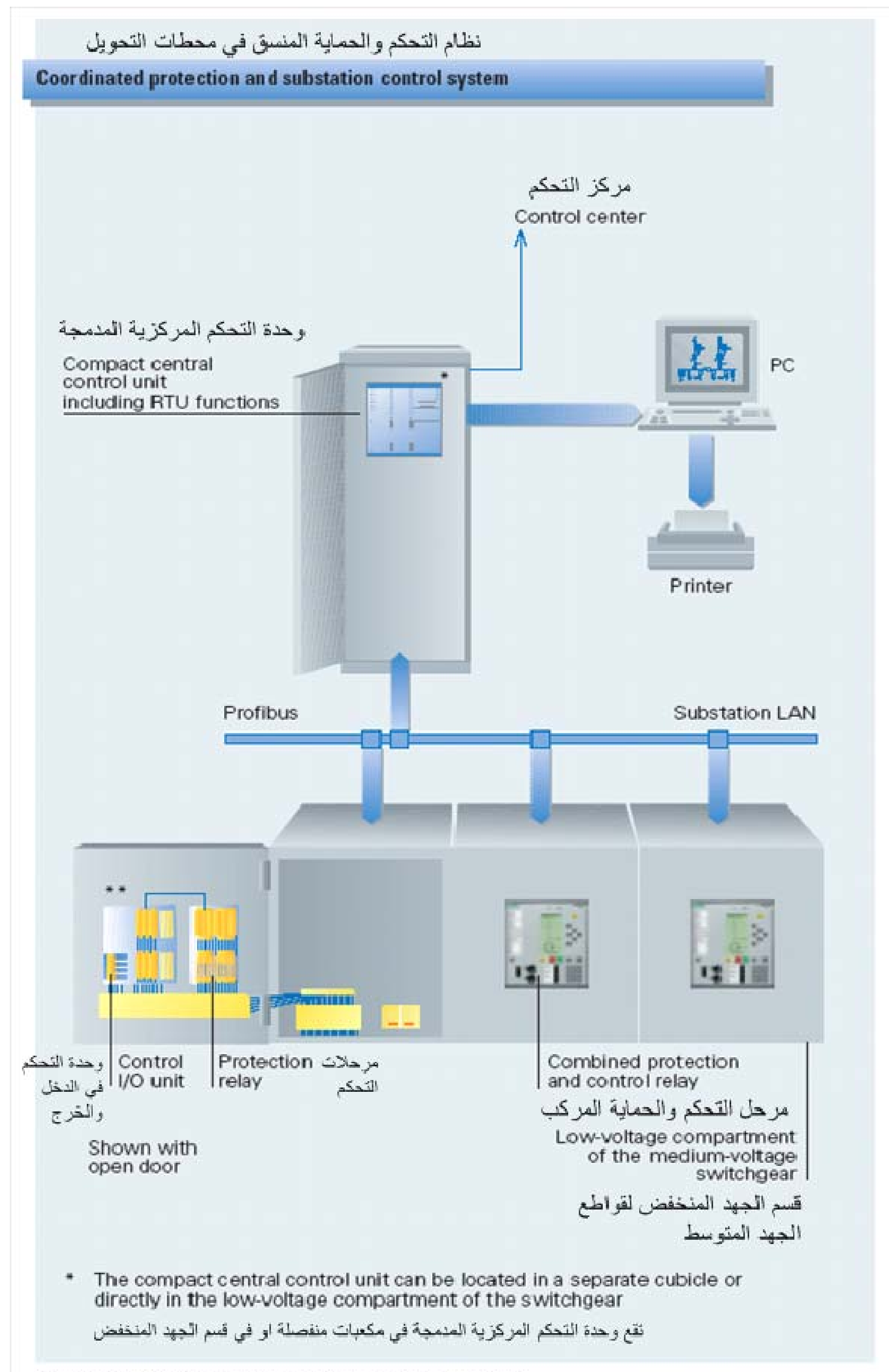


Fig. 133: Decentralized structure of modern protection and control

الشكل(4.23): النظام الحديث للحماية والتحكم في المحطات

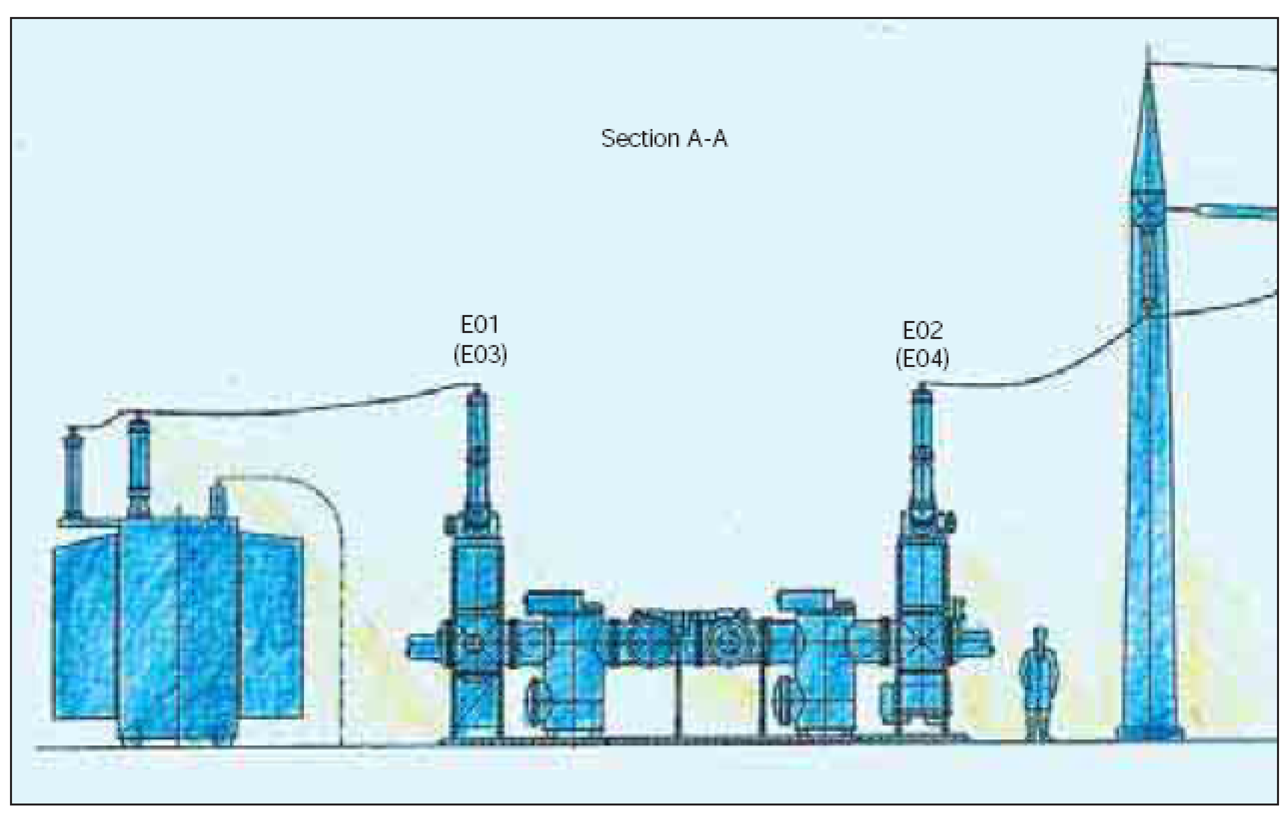
محطات التحويل المغلقة بالغاز (Gas Insulated Switchgear for substation)

تتكون المحطات المغلقة من وحدة مركبة تشمل وحدات الوظائف الأساسية كقاطع الدائرة، سكينة الفصل والتأريض، أجهزة التحويل ووحدات إضافية أخرى حيث تتواصل هذه الوحدات الثلاثية الطور عبر نظم توصيل آلية دقيقة يتم التحكم فيها عن بعد، و تقع كل الوحدات داخل غلاف معدني يضم محيط عازل لغاز SF_6 (الأشكال 4.25 إلى 4.27). يؤمن هذا الغاز العزل الكامل بين الوحدات الحية (المكهربة) والغلاف المعدني الخارجي رغم المسافة الصغيرة التي تفصل بينهما، كما يؤمن العزل بين نقاط التلامس لقاطع الدائرة والسكين في حالة الفصل.

يتزايد استخدام المحطات المغلقة والمعزولة بالغاز على حساب المحطات التقليدية وذلك لما تمثله من ايجابيات أهمها:

- صغر المساحة للازمة لإنشاء المحطة حيث تستخدم المحطات المعزولة بغاز SF_6 بدل المحطات التقليدية لصغر حجمها.
- الحماية الكاملة من التواصل مع الأجزاء المكهربة حيث تكون جميع أجهزة المحطة معزولة بالغاز وداخل غلاف معدني.
- حماية الأجهزة من التلوث البيئي حيث يمنع الغلاف المعدني كل التأثيرات البيئية المحيطة بالمحطة من الوصول إلى الأجهزة. كما تصمم هذه المحطات داخل مباني مغلقة للمحافظة على نظافة الأجهزة وتسهيل عملية الصيانة دون التأثيرات المناخية.
- حرية اختيار مكان المحطة وذلك لصغر المساحة المطلوبة لإنشاء المحطة.

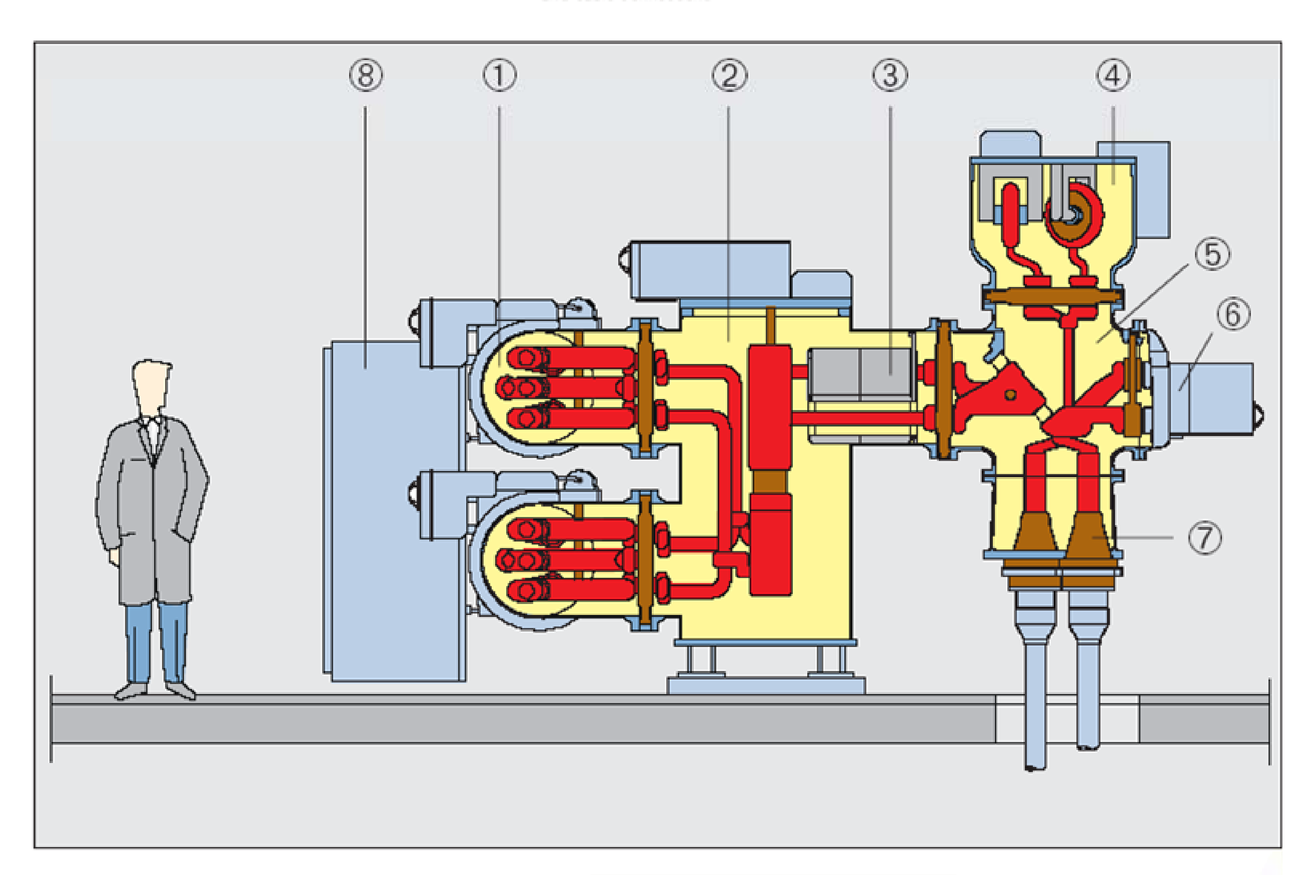




الشكل 4.25 : الشكل الخارجي لمحطة تحويل مغلقة بالغاز GIS substation



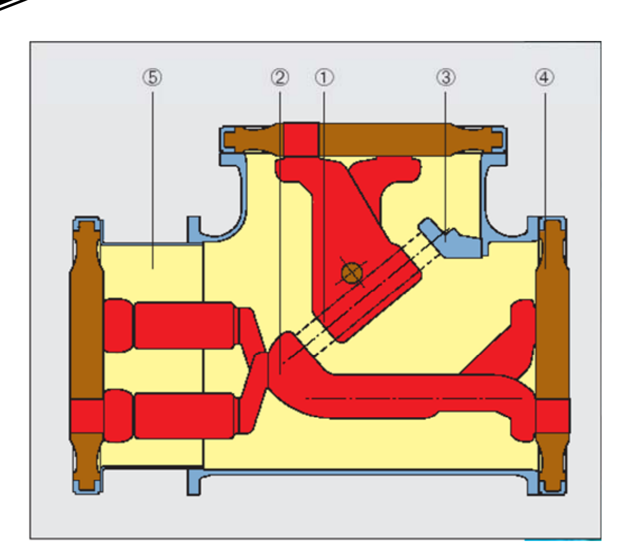

Substation with double busbar and cable connections



Bay with double busbar and cable connection

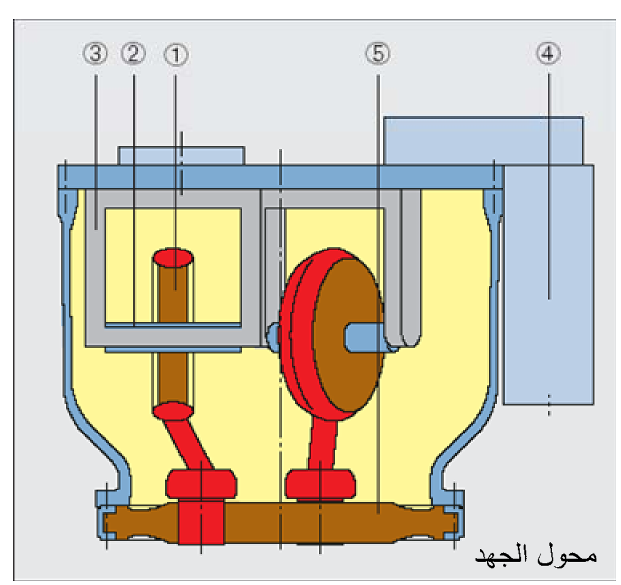
① Busbar with combined dis-connector and earthing switch	قضبان التوزيع
② Circuit breaker	قاطع الدائرة
③ Current transformer	محول التيار
④ Voltage transformer	محول الجهد
⑤ Line disconnector with earthing switch	سكينة الفصل مع مفتاح التأريض
⑥ Make-safe earthing switch	تأمين نظام التأريض
⑦ Cable sealing end	ربط الكابلات
⑧ Control cubicle	لوحة التحكم

الشكل4.26: مفاتيح الفصل لمحطة ذات العزل الغازي **Gas Insulated Switchgear for substation** .



Busbar with combined disconnector and earthing switch
قضبان التوزيع مع سكينة الفصل و مفتاح التأريض

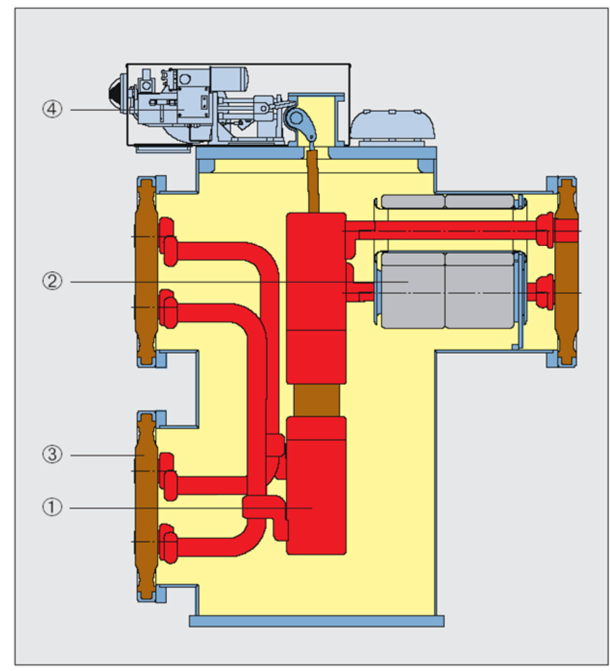
نقاط التلامس	① Contact pin
تلامس سكينة الفصل	② Disconnector contact
تلامس مفتاح التأريض	③ Earthing switch contact
العازل	④ Barrier insulator
عناصر التركيب المستعرضة	⑤ Transverse assembly element



محول الجهد

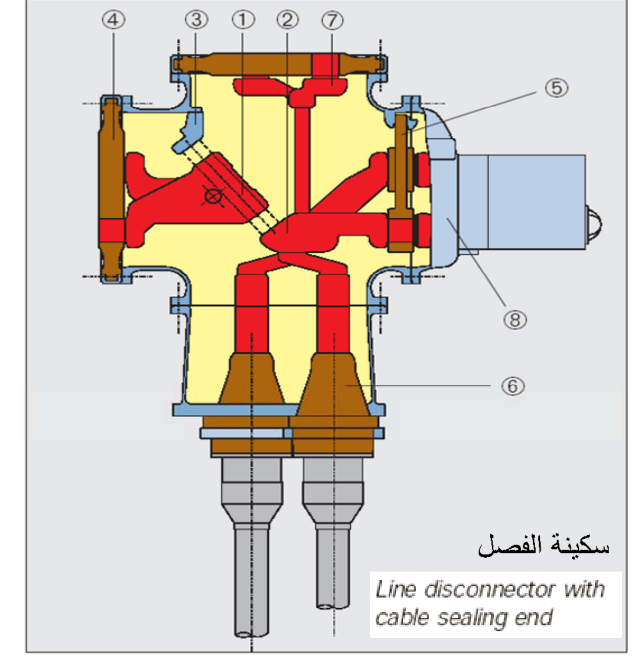
Voltage transformer

اللفائف الاولية	① Primary winding
اللفائف الثانوية	② Secondary winding
هيكل المحول	③ Transformer core
علبة التوصيلات	④ Terminal box
العازل	⑤ Barrier insulator



Circuit breaker with integrated current transformer
قاطع الدائرة مع محول تيار مدمج

غرفة حدوث القوس الكهربائي	① Arcing chamber
محول التيار	② Current transformer
العازل	③ Barrier insulator
نظام التشغيل الهيدروليكي	④ Hydraulic operating mechanism



سكينة الفصل

Line disconnector with cable sealing end

نقاط التلامس	① Contact pin
تلامس سكينة الفصل	② Disconnector contact
تلامس مفتاح التأريض	③ Earthing switch contact
العازل	④ Barrier insulator
قاعدة العازل	⑤ Support insulator
طاق توصيل الكابلات	⑥ Plug-in cable connection
طاق توصيل محول الجهد	⑦ Voltage transformer connection
تأمين مفتاح التأريض	⑧ Make-safe earthing switch

الشكل4.27: تفاصل الوحدات المكونة للمحطة المغلقة بالغاز ذات قضيب مزدوج.

تمارين عامة للمنهج

١- محطة للاتصالات اللاسلكية تعمل بالطاقة الشمسية لمدة 12 ساعة في اليوم ثم تتوقف عن العمل لبقية ساعات اليوم. تستهلك المحطة تياراً قدره I=4A تحت جهد 48V عند التشغيل. تقع المحطة في منطقة جبلية حيث متوسط تساقط الأشعة الشمسية في حدود 8 ساعات في اليوم. ونظرا لأهمية الخدمة التي تؤديها هذه المحطة تم اعتماد معامل أمان بقيمة 1.5 .

احسب:

أ- متوسط التيار المستهلك خلال ٢٤ ساعة

ب- التيار المطلوب لتشغيل المحطة

يستخدم في هذا المشروع لوحات شمسية ذات المواصفات التالية:

❖ تيار اللوحة= 1.5A ❖ جهد اللوحة= 12V

ج- احسب عدد اللوحات الشمسية اللازمة لتوفير حاجيات المحطة من الطاقة الكهربائية.

د- ارسم الدائرة الكهربائية للمشروع مبينا كيفية توصيل اللوحات الشمسية.

(الحل:(أ) 2A (ب) 9A (ج) 24لوحة)

٢- مولد كهربائي ثلاثي الطور موصل على شكل نجمة Y ، يغذي حملا P=10MW بمعامل قدرة P.F.=0.85 متأخر (.Lag) تحت جهد U=11kV. المفاعلة التزامنية للمولد $X_S=0.66\Omega$. أوجد جهد المولد في حالة اللاحمل دون تغير تيار الإثارة.

٣- محطة توليد كهربائية تغذي مجموعة أحمال سنوية حسب المواصفات التالية:

- معامل الحمولة = 30.5%
- الحمل الأقصى للمحطة خلال السنة = 18000kW
- القيم القصوى للأحمال خلال السنة: 7500kW, 5000kW, 3400kW, 4600kW, 2800 kW

أ- أوجد الطاقة المنتجة سنويا في هذه المحطة

ب - أوجد معامل التباين لمجموع الأحمال.

(الحل:(أ) 48.09×10^6 kWh (ب) 1.3)

٤ - محطة توليد تغذي أربعة مناطق حيث ذروة الحمولة لكل منطقة كالتالي: 10MW, 5MW, 8MW 7MW. معامل التباين لهذه المحطة يساوي 1.5 ومتوسط معامل الحمولة السنوي يساوي 60٪. أوجد ما يلي:

أ- الطلب الأقصى للمحطة.

ب- القدرة المنتجة سنويا.

(الحل:(أ) 20MW (ب) $105.12x10^6$ kWh)

٥- محطة توليد موصلة بمجموعة أحمال قيمتها الإجمالية43000kW ، لكن الطلب الأقصى لا يتجاوز 20000kW والطاقة المنتجة سنويا في حدود 61500000kWh. احسب مايلي:

أ) معامل الحمولة.

ب) معامل الطلب.

(الحل:(أ) 46.5% (ب) 35.1%)

٦- إذا اعتبرنا جدول الاستهلاك التالي:

الفترة الزمنية خلال اليوم	القدرة المستهلكة
من 12.p.m إلى 6 a.m.	200W
من 6 a.m. إلى 12 noon	3000W
من 12 noon إلى 1 p.m.	100W
من 1 p.m. إلى 4 p.m.	4000W
من 4 p.m. إلى 9 p.m.	2000W
من 9 p.m. إلى 12 p.m.	1000W

أ) أوجد معامل الحمولة

(الحل: (أ) 46.1%)

الرموز Symbols

A : أمبير أو المساحة Ampere or area
C : السعة Capacitance
D : القطر ، المسافة Diameter, Distance
E : جهد الخلية الشمسية Voltage of cell
f : التردد Frequency
F : فاراد Farad
G : المواصلة Conductance
H : الارتفاع ، الهنري، Head, Henry
I : التيار Current
j : القيمة التخيلية Vector operator
ε_o : سماحية الهواء Permittivity of air
ε_r : السماحية النسبية Relative permittivity
L : المحاثة Inductance
l : الطول Length
m : الكتلة Mass
n : السرعة Speed
P: القدرة الفعالة Active power
p : عدد الأقطاب في الآلات Number of poles
Q : القدرة المفاعلة ، Reactive power
R : المقاومة Resistance
r : الشعاع Radius
S : القدرة الظاهرية Apparent power

T : درجة الحرارة، الدورة Temperature, Cycle
V : جهد الطور Voltage per phase
U : جهد الخط Line to line Voltage
X : المفاعلة Reactance
Y : المسامحة Admittance
Z : المعاوقة Impedance
ω_m : سرعة الزاوية Angular Velocity
Ω : أوم Ohm
η : الكفاءة Efficiency
E_m : جهد الخطوة Step voltage:
ρ :المقاومة النوعية للأرضية Soil resistivity:
K_m : المعامل الهندسي لشبكة الأرضي The geometrical factor
K_i : معامل التصحيح The correction factor
I_G(p.u) : متوسط التيار المار بموصلات التأريض المدفونة The average current in the grounding system
L_m : طول موصلات التأريض المدفونة The length of the conductor that makes up the grounding system